

Aus dem Anatomischen Institut der Johannes Gutenberg -
Universität Mainz

MORPHOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN AM UNTEREN UND OBEREN
KOPFGELENK UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON SCHÄDELASYMMETRIEN

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Würde des Doktors der Medizin
der Johannes Gutenberg - Universität in Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von

J ü r g e n R u d e
aus Mainz

Mainz 1982



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552623_0014

Aus dem Anatomischen Institut der Johannes Gutenberg -
Universität Mainz

MORPHOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN AM UNTEREN UND OBEREN
KOPFGELENK UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON SCHÄDELASYMMETRIEN

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Würde des Doktors der Medizin
der Johannes Gutenberg - Universität in Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von

J ü r g e n R u d e

aus Mainz

Mainz 1982



Dekan: Professor Dr. med. K.H. Bäßler

1. Gutachter: Professor Dr. med. E. Stofft

2. Gutachter: Professor Dr. med. G. Müller

Tag der mündlichen Prüfung: 8. Dez. 1982

I N H A L T

Seite

1. EINLEITUNG	1
1.1. Das obere Kopfgelenk	1
1.2. Das untere Kopfgelenk	11
1.3. Asymmetrieverhältnisse	16
1.4. Fragestellung	22
2. MATERIAL UND METHODIK	23
2.1. Untersuchungsgut	23
2.2. Methoden der Merkmalsbestimmung	23
2.3. Methoden der statistischen Aufarbeitung	38
3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION	39
3.1. Morphometrie der Gelenkflächen des oberen Kopfgelenkes	39
3.2. Morphometrie des unteren Kopfgelenkes	46
3.3. Morphognose und Morphometrie der Okzipitalkondylen	56
3.4. Beziehungen der Kondylen zum Schädel	69
3.5. Asymmetrieverhältnisse und ihre gegenseitigen Beziehungen	74
4. ZUSAMMENFASSUNG	84
5. LITERATURVERZEICHNIS	86
6. ANHANG: BILDDOKUMENTATION	98

Abb. 1	_____	33
Abb. 2	_____	33
Abb. 3	_____	33
Abb. 4	_____	33
Abb. 5	_____	34
Abb. 6	_____	35
Abb. 7	_____	47
Abb. 8	_____	58
Abb. 9	_____	59
Abb. 10	_____	70
Abb. 11 - 90	_____	s. Anhang

Tab. 1	_____	40
Tab. 2	_____	40
Tab. 3	_____	48
Tab. 4	_____	48
Tab. 5	_____	49
Tab. 6	_____	55
Tab. 7	_____	60
Tab. 8	_____	63
Tab. 9	_____	65
Tab. 10	_____	66
Tab. 11	_____	67
Tab. 12	_____	68
Tab. 12	_____	72
Tab. 13	_____	72
Tab. 14	_____	75
Tab. 15	_____	75
Tab. 16	_____	76
Tab. 17	_____	79
Tab. 18	_____	80

1. EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit soll sich mit den Größenverhältnissen und ihren gegenseitigen Beziehungen am oberen und unteren Kopfgelenk des Menschen befassen. Desweiteren sollen auch die Beziehungen der Kondylen zum Schädel, unter besonderer Berücksichtigung der Asymmetrien, untersucht werden. Im folgenden wird der bisherige Wissensstand in den hier relevanten Gebieten wiedergegeben. Die Ansatzpunkte der Bearbeitung innerhalb dieses Themenkomplexes werden herausgestellt. Die Kopfgelenke werden nach Form, Lage, Entwicklung und Funktion besprochen. Am Schädel wird die Asymmetrieproblematik dargestellt.

1.1. Das obere Kopfgelenk

Im oberen Kopfgelenk artikulieren die Kondylen des Os occipitale mit den oberen Gelenkflächen des Atlas (Foveae articulares superiores).

Morphologie der Kondylen

Wie bei allen Säugetieren (Mammalia; s. ROHER, 1971), sind auch beim Menschen die KONDYLEN doppelt angelegt (Dikondylie). FICK (1904) leitet ihre Form von einem geometrischen Körper ab. Er sieht darin eine phylogenetische Reminiszenz an den einfachen Condylus, wie er bei Reptilien und Vögeln vorherrscht. Die Kondylen liegen lateral dem Foramen magnum an, wobei das Hinterhauptsloch häufig durch sie seitlich eingeschnürt werden kann. Die Einengung des Hinterhauptsloches ist nach MISCH (1905) hauptsächlich den Alariafeldern zuzuschreiben (Ansatzstellen der Lig. alaria). Andere Autoren sehen hierin ein Zeichen der basilaren Impression (s. TORKLUS & GEHLE, 1970; vgl. hierzu Abb. 15 - 17).

Im Laufe der Stammesgeschichte des Menschen kommt es zur Verschiebung der Kondylen und des Foramen magnum am Schädel von dorsal nach kaudal (s. VOGEL, 1974). Dies ist in Zusammenhang mit der erworbenen menschlichen Bipedie zu sehen. Sie führt u. a. auch zu zwei Abknickungen im Bereich des Schädels und der zervikookzipitalen Übergangsregion. Zum einen entsteht intrakraniell durch die Clivussteilstellung der Sphenobasilarwinkel und zum anderen im Bereich des Überganges vom Kopf zur Halswirbelsäule der Clivus-Dens-Winkel. GUTMANN (1981) bezeichnet beide Winkel als Orientierungskypnose, im Gegensatz zur Aufrichtungslordose im unteren Wirbelsäulenbereich. Diese Abknickungswinkel sind nicht nur von theoretischem, sondern besonders von klinischem Interesse (vgl. SCHMIDT, 1959).

Die Kondylen selbst konvergieren in ihrer Längsachse nach ventral. Dieser sog. Kondylenwinkel verkleinert sich während der Ontogenie von ca. 80° auf 50° , d. h. er wird spitzer (s. INGELMARK, 1943; vgl. KNESE, 1936/48; BERNHARD, 1976; STOFFT, 1976). Die Verlängerung der Querachsen der Kondylen treffen sich kaudal und bilden den sog. Gelenkachsenwinkel (GAW). Seine Größe liegt nach BERNHARD (1976) im Mittel bei 121° . WELKER (1910) setzt ihn in Beziehung zur Form der Kondylen. Röntgenologische Messungen ergaben im Durchschnitt 125° (s. SCHMIDT, 1959; TORKIUS & GEHLE, 1970; STOFFT, 1976). TORKIUS & GEHLE sehen diesen Winkel auch als indirektes Maß für Anomalien am Hinterhaupt, wie z. B. kondyläre Hypoplasie, an. Eine Ausnahme hierzu zeigt die Abb. 21/22. Beide Winkel sichern die Stabilität der Verbindung des Kopfes mit der Wirbelsäule. Die Kondylen sind in den Atlas eingekeilt. Außerdem gewinnt der Kopf eine sichere Unterstützung durch die weit voneinander entfernten und relativ großen Kondylen (FICK, 1911; STOFFT & MÜLLER, 1971).

Neben der Lage und Stellung der Kondylen im Raum spielt auch ihre Form eine große Rolle. Sie ist schon Thema zahlreicher Publikationen (s. u.) gewesen. Das Gemeinsame aller Arbeiten ist die Herausstellung von mindestens zwei Extremvarianten. Allein BERNHARD (1975/76) sieht ein Kontinuum in der Formenvielfalt.

Auf die Formenvielfalt wird unter Punkt 3.3. genauer eingegangen, indem die Variabilität der Kondylen morphometrisch und morphognostisch analysiert wird. Qualitativ verschiedene Variationen der Längsschnitte würden unterschiedliche Erklärungsmöglichkeiten der Bewegung ermöglichen und die uneinheitlichen Wertangaben des Bewegungsspielraumes erklären.

STRECKER (1887) klassifiziert die Kondylen in drei Typen und setzt sie zu bestimmten rassischen Formengruppen in Beziehung.

Der erste Typus (bei Negern) ist nahezu rund und sehr flach, d. h. die Längen- und Breitendurchmesser gleichen sich. Der aus ihnen gebildete Index liegt somit näher bei 100 (vgl. Tab. 11 + 12). Bei einer Krümmungshöhe von Null gehen die Krümmungsradien ins Unendliche. Der Sockel selbst soll bei diesem Typus auch sehr niedrig sein. Der zweite Typus (bei Asiaten) ist lang, schmal und hoch, d. h. der Längen-Breiten-Index klein und die Krümmungshöhe groß. Die Gelenkfläche steht weit von der Basis ab. Der dritte Typus (u. a. bei Europäern) stellt einen Mischtypus aus den beiden vorgenannten dar.

Nach MISCH (1905) und MARTIN (1928) lassen sich keine deutlichen Rassenunterschiede feststellen.

Bei MISCH (1905) finden sich auch genaue Angaben über die Häufigkeiten der verschiedenen Formen (s. Tab. 7). Er unterscheidet konvexe von diädrischen Längsschnittformen,

deren Extremvarianten wiederum flache und zweigeteilte Gelenkflächen bilden. Die konvexen Formen werden graduell nochmals unterschieden. Das Einteilungsprinzip selbst wurde von OBICI & VECCHIO (1895) übernommen. Für sie sind die Extremtypen (plan und angulär) Anomalien. An Gelenkflächenformen, wie sie sich in der Aufsicht darstellen, lassen sich vereinfacht runde von eckigen Formen und deren Kombination unterscheiden (vgl. Abb. 8 + 9).

KNESE (1948) stellt auch zwei Extremvarianten besonders heraus. Die eine Variante gleicht dem ersten Typus von STRECKER, d. h. sie ist flach und rund. Die andere entspricht der diëdrischen Form von MISCH. KNESE nennt sie prismatisch. In starker Ausprägung hat dieser Condylus eine scharfe Transversalkante, von der aus kaum gekrümmte Flächen nach ventral und dorsal abfallen (vgl. Abb. 45/46). Trotzdem sieht er sie bei nicht allzu starker Ausprägung als einen Teil eines spindelförmigen Eikörpers an. Jedem Condylus wird ein geometrischer Körper zugeordnet (s. KNESE 1936). Als Vorformen der Zweiteilung sind Einkerbungen am medialen und lateralen Rand anzusehen (vgl. Abb. 43 - 54).

Auf die absoluten Größenverhältnisse wird unter Punkt 3.1. u. 3.3. eingegangen. Durch Korrelationsstudien (Punkt 3.4.) wird dann die Beziehung zum Schädel untersucht, um die Kondylenform funktionell besser erklären zu können.

Am Aufbau der Kondylen beteiligen sich am vorderen Drittel die Pars basilaris (Basioccipitalia) und an den hinteren zwei Dritteln die Partes laterales (Exoccipitalia). Nach GANGULY & SINGH ROY (1964) wird das Material für den Sockel der Kondylen vom ventralen Anteil des Proatlans gebildet. Diese Primäranlage soll durch Resorption und Apposition nach dorsal verschoben werden (BOLK, 1921).

Im Grunde wurde schon jede Erhebung und Unregelmäßigkeit am Os occipitale als Manifestation eines Okzipitalwirbels gedeutet. Über deren klinische Relevanz berichtet ausführlich SCHMIDT (1959). Auf die Zweiteilung des Canalis hypoglossus wird im Rahmen dieser Arbeit noch eingegangen.

Ob die schon öfter erwähnte Teilungslinie der Kondylen der ehemaligen Synchronosis intraoccipitalis entspricht, wird unterschiedlich beurteilt. Für STRASSER (1913) und KNEJE (1948) liegen die Einkerbungen oder die Zweiteilung der Kondylen an der Stelle der Synchronosis intraocc. ant.. In diesem Fall müßte eine starke dorsale Kippung des vorderen Sockels aufgetreten sein, da in der Kindheit die Kondylenfuge vor dem Canalis hypoglossus liegt. Die Teilungsstelle liegt später immer hinter dem Canalis hypoglossus. Aber schon MISCH (1905) schreibt auf S. 49, daß die Spalte (Kondylenfuge) zu einem Löchlein mitten im vorderen Anteil der Gelenkfläche zusammenschrumpft und deren Rand an keiner Stelle erreicht, was einen fundamentalen Gegensatz zu den transversalen Furchen und Kanten zweiteiliger und diëdrischer Kondylen darstellt, die stets vom Rande ausgehen. Die Abbildungen 31 - 36 (bes. 33 + 34) sind für diese Ansicht eine gute Stütze. Wie auf Seite 7 noch ausgeführt wird, kann die Zweiteilung auch vom Atlas ausgehen. Nach dem Schluß der Kondylenfuge (6.Lj.) können schon konvexe von diëdrischen Gelenkflächen unterschieden werden.

Neben der Zweiteilung treten als besondere Formcharakteristika noch Randfacetten oder Einstellungs-furchen auf (s. Abb. 23/24 u. 85 - 90). Sie sollen sich erst im Laufe des Lebens ausbilden. Bei Tieren mit Stoßhörnern finden sie sich nach STRECKER (1887) stark ausgeprägt.

Der Gelenkknorpel ist weniger reich an Umgestaltungen

als der knöcherne Sockel. Bei Kindern bietet er seltener eine genaue Kopie der ossären Grundlage als dies beim Erwachsenen der Fall ist. Der Knorpel nimmt in der Kindheit zur Mitte hin zu und beträgt dort ca. 4 mm. Nach der Pubertät nimmt er die Erwachsenenform an. Er ist gleichmäßig stark ausgebildet, aber relativ dünn (0.5 - 1 mm). Einkerbungen und Teilungsstellen werden von Synovialpolstern ausgefüllt (s. MISCH, 1905).

Morphologie des Atlas

Der ATLAS ist ein knöcherner Ring, bestehend aus Arcus anterior und Arcus posterior. Auf beiden Bögen findet sich auf der Mediansagittalen jeweils ein Höcker, das Tuberculum anterius und das Tuberculum posterius. Seitlich liegen die Massae laterales, die die Gelenkflächen tragen und die Kondylengelenkflächen in sich aufnehmen. Der Konvergenzwinkel, ein dem Kondylenwinkel analoges Maß, liegt nach WELKER (1910) bei 51° . Bei KNESE (1936) ist er oft größer als der Kondylenwinkel. Bezüglich der Fläche, der Länge und der Tiefe ergeben sich deutlichere Unterschiede zu den Kondylen. Die Werte sind am Atlas alle kleiner.

Die zuvor erwähnten Differenzen führen zu gelenkmechanischen Konsequenzen, wobei aber eine isolierte Betrachtung der Größen nicht immer ausreichend ist (vgl. STOFFT, 1976/78). Aus diesem Grund wird unter Punkt 3.1. mit Hilfe einer Korrelationsanalyse versucht, den Grad des Zusammenhanges der Größen des Condylus und des Atlas zu erfassen. Eine größere Inkongruenz würde für ausgiebige Wackelbewegungen im oberen Kopfgelenk sprechen. Über den biomechanisch-funktionell wichtigen Krümmungsradius liegen kaum Daten vor. Er soll deshalb in dieser Arbeit genauer analysiert werden (s. Punkt 3.1. u. 3.2.). Besteht hier nämlich eine gute Übereinstimmung zum Condylus, so spricht dies für eine gute Passung (kongruenz)

in der Sagittalebene und ermöglicht nur eine Drehgleiten im Gelenk, auch bei unterschiedlichen absoluten Größen. Die Atlaspfannen nur als etwas flacher zu bezeichnen genügt somit nicht und muß unter diesem Gesichtspunkt neu gesehen werden. Erwähnenswert ist hierzu die Feststellung MISCH's (1905), daß eine besonders gute Übereinstimmung bei den diëdrischen Gelenkflächen mit Stufe (vgl. Abb. 8) herrscht. Es scheint sich hier um die Extremform der Zweiteilung zu handeln. Über die Gelenkmechanik schreibt er (S. 25): „Man sieht dann, wie bei der Beugung des Kopfes die Stufe in der Pfanne ungehindert nach hinten gleiten kann, während sie bei der Streckung schließlich gegen die ihr analoge Stufe von seiten des Atlas stößt, was immerhin zur Festigkeit des Gelenkes beitragen mag“.

Zweigeteilten Atlas-Gelenkflächen entsprechen nicht immer auch geteilte Gelenkflächen der Kondylen (vgl. Abb. 11-14), sondern häufiger scharfkantige diëdrische Gelenkflächen. Der Anteil einseitig oder doppelseitig zweigeteilter Atlas-Gelenkflächen liegt bei 14 %. Er ist somit höher als der Wert für die Kondylen, der nur bei ca. 1 % liegt (vgl. MISCH, 1905). Diese Variante zu kennen ist auch klinisch wichtig, um nicht fälschlicherweise einen herdförmigen subchondralen Knochenprozess anzunehmen (s. TORKLUS & GEHLE, 1970).

Die schon erwähnten Randfacetten stehen auch in einem Verhältnis zum Atlas, indem sie mit ihm in ganz bestimmten Stellungen in Gelenkverbindung treten und eine 'Knochenhemmung' hervorrufen. STRECKER (1887) nennt sie deshalb Einstellungsfurchen.

Der hintere Anteil des ProAtlas soll an der Ausbildung der dorsalen oberen Gelenkfacette beteiligt sein und somit bei stärkerer Ausprägung die Teilung hervorrufen.

Die Bedeutung des vorderen Proatlasteiles wurde schon bei den Okzipitalkondylen erwähnt. Die dorsale Gelenkfläche entspricht demnach auch einer Okzipitalwirbel-manifestation (s. TORKLUS & GEHLE, 1970; über eine Pro-atlas-Segmentarterie berichten HUTCHINSON & MILLER, 1970; BLOCH & DANZIGER, 1974).

Die Verknöcherung des Atlas geht von Knochenkernen in den Massae laterales aus, die auf die beiden Hälften des hinteren Atlasbogens vorschreiten. In 2 % findet sich ein Schaltstück im Tuberculum posterius. Der vordere Bogen wird von der hypochondralen Spange gebildet, wobei drei Wege der Verknöcherung eingeschlagen werden können. Aus demselben Material entstehen auch akzessorische Knochenstücke (s. BERGMANN, 1967; TORKLUS & GEHLE, 1970 et al.). Nach Abschluß dieser Prozesse macht der Atlas analoge Umwandlungen zu den Kondylen durch. Die platte Urform geht allmählich in die konkave Gestalt über (s. MISCH, 1905).

Auch der Knorpelüberzug der Atlaspfannen macht ähnliche Umgestaltungen durch, wie sie schon bei den Kondylen beschrieben wurden. Im Erwachsenenalter beträgt seine Stärke nach FICK (1904) nur 0.5 mm. Der Gelenkmechanismus unterscheidet sich aber bei Kindern nicht wesentlich von demjenigen der Erwachsenen. Die noch größere Dehnbarkeit der Bänder und die Knorpelfugen führen nur passiv zu einer größeren Beweglichkeit (vgl. CATTELL & FOLTZ, 1965).

Die Ansatzstellen des Querbandes (Lig. transversum atlantis) an den Massae laterales entsprechen den Alariafeldern der Kondylen. Sie lassen zwischen sich einen Komplementärraum frei.

Mechanik des oberen Kopfgelenkes

Es ist nicht möglich, das obere Kopfgelenk anatomisch-funktionell einem geometrischen Körper zuzuordnen, um daraus die funktionelle Bewegungsmechanik problemlos ableiten zu können. MacCONAILL (1969) unterscheidet praktisch nur ovoide und sellare Gelenktypen, aus denen sich die übrigen ableiten lassen. Das obere Kopfgelenk ist demnach dem ersten Typ zuzuordnen. Dies besagt nun, daß verschiedene Krümmungsradien in den Quer- und Längsdurchmessern vorkommen und damit auch verschiedene Gelenkachsen. Eine theoretische Konsequenz hieraus ist, daß in einer Bewegungsrichtung ein Klaffen auftritt, je nachdem von welchem Grundkörper die Ellipse abgeleitet wird (s. FICK, 1910). In Wirklichkeit bildet sich aus beiden Gelenkachsen eine Kompromißachse, um somit das Klaffen des Gelenkspaltes nach allen Seiten so gering wie möglich zu halten. Die Deformierbarkeit des Knorpels sorgt für einen weiteren Ausgleich. Eine weitere Kompromißachse müßte bei der Annahme von zwei Körpern (s. KNESE 1936/48) gefordert werden, um eine Bewegung zuzulassen. Bei diëdrischen Gelenkflächen mit ventral und dorsal anderen Krümmungsradien kommt es zwangsläufig zu wandernden Achsen.

Am besten lassen sich die Bewegungsmöglichkeiten in den drei Ebenen röntgenkinematografisch kontrollieren. Aufgrund der beträchtlichen individuellen Unterschiede sind die Zahlenangaben nur als Anhaltspunkte zu verstehen. Ausführliche Tabellen finden sich bei KNESE (1948, S. 106) und GUTMANN (1981, S. 106). Neben den Kinesien (Haupt- und Zielbewegungen) lassen sich am Lebenden noch Parakinesien (Nebenbewegungen) und Synkinesien (Mitbewegungen) unterscheiden (vgl. JIROUT, 1976).

Die Bewegungsausmaße in der Sagittalebene (Nickbewegung) betragen 10° - 30° . Nach dorsal gibt es eine größere Bewegungsfreiheit. Besonders erwähnenswert ist die paradoxe Atlaskippung (Atlasinversion nach ARLEN, 1977) am Ende der Bewegung, die zu einer Reduktion des Abstandes zwischen Okziput und Atlas führt. Die Kippbewegung ist als die Norm anzusehen (vgl. LEWIT & KRAUSOVA, 1963). Der Atlas kann aber auch in einer superioren oder inferioren Position verharren. GUTMANN (1981) vermutet hier einen Zusammenhang mit dem komplizierten Bau der Kondylen. GUTMANN (1977) kritisiert deshalb auch die statistische Arbeit von ARLEN (1977) über die Atlas-Kippung, da sie die anatomischen Variationen unberücksichtigt läßt. Vgl. hierzu die Ausführungen Punkt 3.3..

Das Bewegungsausmaß in der Frontalebene (Lateralflexion) beträgt 9° . In extremen Positionen der Sagittalebene wird die Bewegung verhindert. Nach KNESE (1936) soll derjenige Condylus, nach dessen Seite die Bewegung erfolgt, in die entsprechende Pfanne hineinrutschen und sich dieser ziemlich kongruent anlegen, während der andere Condylus sich aus der Pfanne heraushebt.

Die Bewegung in der Vertikalebene (Zwangs- Rotation) erfolgt um 5° . Auf Grund des Kondylenwinkels ist die Nickbewegung meist mit einer Zwangsrotation verbunden, das ist demzufolge eine Parakinesie. Ansonsten tritt sie am Ende der Rotation des unteren Kopfgelenkes auf. Nach einer Arthrodesse des Atlantoaxialgelenkes vergrößert sich die Bewegungsmöglichkeit von 5° auf 25° (DEFREUX & MESTDAGH, 1974). Dies spricht dafür, daß nicht jede anatomisch mögliche Bewegung und Verschiebung der Gelenkpartner innerhalb der kinematischen Kette ausgenutzt wird.

1.2. Das untere Kopfgelenk

Morphologie des unteren Kopfgelenkes

Das untere Kopfgelenk besteht im Gegensatz zum oberen aus vier Schleifflächen. Die untere Atlasgelenkfläche (Fovea art. inf.) artikuliert mit der oberen Axisgelenkfläche (Facies art. sup.). Der Axiszahn ist vorne von einem knöchernen, hinten von einem fibrösen Ring umgeben (Arcus anterior - Lig. transversum atlantis).

Es sei hier schon vorweggenommen, daß beim seitlichen Atlas-Axisgelenk streng getrennt werden muß, zwischen der Beschreibung des knöchernen Gelenkplateaus und der überknorpelten Gelenkfläche. Besonders das Wölbungsverhältnis hat, im Gegensatz zum oberen Kopfgelenk, jeweils eine andere Ausprägung und somit auch eine abgewandelte Funktionserklärung. Sie unterscheidet sich wesentlich. In dieser Diskrepanz liegt auch die Ursache für viele Unklarheiten in der Bearbeitung. Eine Auflistung findet sich bei PUTZ & POMAROLI (1972).

Die Lage und Form der mazerierten Präparate ist folgende: Die Gelenkflächen des Axis fallen nach außen unten ab. Ihr Längs- und Querdurchmesser unterscheidet sich nicht sehr in der Größe. Sie sind also rund bis leicht längs-oval. Die Verlängerung der beiden Längsdurchmesser schneidet sich ventral vom Dens. Der Schnittwinkel entspricht dem Kondylenwinkel. Die Angaben von PUTZ & POMAROLI (1972) sind etwas widersprüchlich. Es werden 40° - 60° angegeben; aber zeichnerisch lassen sich 100° - 120° bestimmen. Der Gelenkachsenwinkel liegt bei 150° . STOFFT (1976) gibt für die überknorpelte Gelenkfläche den Wert von 116° an.

Die Krümmungsverhältnisse wurden von PUTZ & POMAROLI (1972) genauer untersucht. Im mazerierten Zustand stehen

sich im Längsdurchmesser zwei konkave Gelenkflächen gegenüber. Eine Berührung ist somit nur an den äußeren Enden möglich. Im Querdurchmesser bestehen oben konkave und unten konvexe Verhältnisse. Diese Beziehungen erklären sehr gut die Schraubenbewegung und das Tiefer-treten der Facetten, wie es FICK (1911) bei der Rotation angibt. Die beiden konkaven Flächen kommen sich bei der Drehung immer näher, bis sie bei 90° ein Maximum an Senkung und Berührungsfläche erreichen würden.

Im nicht mazerierten, d. h. überknorpelten Zustand sehen die Verhältnisse anders aus. Hier ist der obere Längsdurchmesser wieder konkav, der untere aber konvex, woraus zu schließen ist, daß der Knorpelbelag zur Mitte hin stärker werden muß. Beide Querdurchmesser, sowohl der obere wie der untere, sind nun konvex. Es ergibt sich somit nur eine lineare Berührungsfläche, die allerdings wegen der Verformbarkeit des Knorpels 2 mm breit ist. Die vor und hinter dieser 'Linie' sich ergebenden Inkongruenzen werden durch meniskoide Synovialzotten ausgefüllt (s. FELTEN, 1957; PUTZ & POMAROLI, 1972 et al.). Um dies noch besser zu veranschaulichen kann man sich zwei Häuserdächer vorstellen, die sich mit dem First berühren. Es ist verständlich, daß dieses Gelenk sich in seiner Geometrie schlecht auf nur einen Rotationskörper, wie z. B. Drehellipsoid, zurückführen läßt.

Die Verknöcherung des Axiskörpers geht meist von einem oder zwei mittelständigen Kernen aus. Die Axisbögen verknöchern fortschreitend perichondral. An der Basis des Dens treten zwei Knochenkerne auf, die zur Zeit der Geburt verschmelzen. Die Ossifikation schreitet zweizipfelig nach kranial fort (sog. Dentalfortsätze, vgl. MEIENBERG, 1962; STOFFT, 1970). Ob die Knorpelfuge

zwischen Dens und Körper des Axis einer intersegmentalen Bandscheibe entspricht, wird unterschiedlich beurteilt. Die subdentale Synchondrose ist später meistens noch als kleiner Knochenwulst nachweisbar. Die Markierung liegt etwas unterhalb des Halses vom Dens, da er sich im Kindesalter tief und breitbasig in den Körper des Axis einsenkt. Die Frage nach dem Ursprung des Dens axis ist nach wie vor offen. Für KLADETZKY (1955) besteht keine Berechtigung die alte These zu verneinen, daß der Dens axis der Körper des Atlas ist. Nach allgemeiner Auffassung ist das Os odontoideum kein Dens mit persistierender Synchondrosis, sondern stellt das Ossiculum terminale (Froatlasmaterial) bei Denshypoplasie dar (vgl. GANZ, 1972).

Mechanik des unteren Kopfgelenkes

Auch am unteren Kopfgelenk sind Bewegungen in den drei Hauptachsen möglich. Für die Rotation beträgt das Bewegungsmaß nach jeder Seite ca. 30° , danach wird die Bewegung auf die Halswirbelsäule übertragen. Kontrovers wird in der Literatur der Drehpunkt angegeben. Folgende Möglichkeiten werden erwähnt:

1. Dens (PUTZ & POMAROLI, 1972; GUTMANN, 1981)
2. Ipsilaterale Seite (FELTEN, 1957)
3. Kontralaterale Seite (STOFFT, 1978)
4. Kombination von 1. und 2. (s. BROCHER, 1955)
5. Kombination von 1. und 3. (JACOBSON & ADLER, 1956)

Durch die Rotation kommt es zwangsläufig zu einer Verschiebebewegung im lateralen Atlantoaxialgelenk. Der Atlas ist mit einer Exzentrerscheibe zu vergleichen. Bei einem Rollgleitvorgang, wie er sich auch im Kiefer- und Kniegelenk findet, kommen unterschiedliche Radien und damit auch verschiedene Wege in den beiden seitlichen Gelenken zustande. Dies führte zur Theorie der asymmetrischen Atlasrotation (CORNER, 1906).

FIELDING & HAWKINS (1977) geben eine Klassifikation aller physiologischen wie pathologischen Rotationsmöglichkeiten an, wobei 4 Typen herausgestellt werden.

Da die Bedeutung des Dens unterschiedlich beurteilt wird, sollen in dieser Arbeit unter Punkt 3.2. die korrelativen Beziehungen des Dens zum Axis und Atlas untersucht werden. Es geht vor allem um die Frage, ob die Stärke des Dens in einer Abhängigkeit zu den Hebelarmen steht und somit die Funktionalität der Mechanik im unteren Kopfgelenk beurteilt werden kann.

Als eine Besonderheit wird eine Senkung um wenige Millimeter bei der Drehung angegeben. Die Erklärung von FICK (1911) am mazerierten Material wurde schon besprochen. Sie scheidet aber aus verständlichen Gründen aus. PUTZ & POMAROLI (1972) lehnen eine Senkung überhaupt ab und führen sie auf Summationseffekte in der Halswirbelsäule zurück. Nach GUTMANN (1981) gleitet der Atlas in der Rotation auf der nach rückwärtsbewegten Seite nach kaudal und auf der vorwärts gerichteten Seite hebt er sich offensichtlich nach kranial an.

Alle Autoren (s. BROCHER, 1955; WERNE, 1959 et al.), die Bewegungen im unteren Kopfgelenk studierten, konstatieren einen erheblichen Ausschlag auch in der Sagittalrichtung, also der Vor- und Rückbeugung. Die Werte liegen zwischen 7° und 16° . Dies entspricht in etwa den Bewegungen zwischen Atlas und Okziput. Individuell ist es sogar möglich, daß sie übertroffen werden.

Bei der Lateralflexion (Seitneigung) handelt es sich größtenteils um eine Verschiebung in der Frontalebene. Es liegt dann ein mediales und laterales Offset vor. LEWIT & KRAUSOVA (1964) nennen einen Wert von 2.4mm. Nach der Meinung der Autoren kommt es bei jeder Seitneigung zu

einer Rotation im Sinne der Neigung. Also auch eine Art Neigungskreiseln. Wahrscheinlich wird dies durch den Atlas (C_1) verursacht, da die Bewegung nie auf das untere Kopfgelenk beschränkt bleibt (vgl. JIROUT, 1973).

In den vorigen Abschnitten wurden alle sechs Grade der Bewegungsfreiheit vorgestellt. Eine isolierte Betrachtungsweise ist aber nicht immer angemessen, da das obere und untere Kopfgelenk eine Funktionseinheit bilden. Hierbei ist die funktionelle Bindung zwischen Okziput und Atlas bei der Rotation und zwischen Okziput und Axis bei der Seitneigung erwähnenswert. Das Bewegungsmuster bei der Kopfdrehung wurde schon erwähnt. Nach der initialen asynchronen Rotation der Kopfgelenkspartner und der Übertragung des Bewegungsimpulses auf die Halswirbelsäule (HWS), kommt es in der Endphase auch zu einer Trennung zwischen Atlas und Okziput im Sinne einer Wackelbewegung (joint play nach MENEILL, 1949). In der Seitneigung verschiebt sich der Atlas nach lateral und rotiert zur Gegenseite (Neigungskreiseln). Die Neigung überträgt sich auch auf den Axis. Dies ist mit einer Rotation in Neigungsrichtung verbunden. Es ist eine gegenläufige Rotation zu C_1 (Mitnehmerscheibe des Atlas GUTMANN, 1981 oder Meniskuswirkung JIROUT, 1973). Die Bewegung verläuft zuerst symmetrisch (artikuläre Phase) und wird dann asymmetrisch (muskuläre Phase - M. rectus capitis posterior major). Es finden außerdem noch Mitbewegungen (Synkinesien) in sagittaler Richtung statt (vgl. JIROUT, 1976). Auf das Phänomen der Atlaskippung bei der Sagittalflexion wurde schon eingegangen. Bei fixierter Superior- oder Inferiorstellung des Atlas kommt es zu einer protektiven Neutralisation während der Anteflexion, d. h., daß auch C_2 (Axis) fixiert bleibt. Nach TORKIUS & GEHLE (1970) soll es zu einem Ausgleich durch eine HWS-Knickung kommen.

1.3. Asymmetrieverhältnisse

Die Asymmetrie der beiden Kopfgelenke ist ein besonderes Charakteristikum der Form, das bei Funktionsanalysen nicht vernachlässigt werden darf (vgl. GOEB, 1956; MATZDORF, 1956; GUTMANN, 1972). In dieser Arbeit soll vor allem untersucht werden, ob die Asymmetrie auf eine Ursache zurückgeführt werden kann und wie sie sich auf den Schädel auswirkt.

Atlas, Axis und vor allem die Kondylen unterscheiden sich nur in der Asymmetriestärke vom übrigen menschlichen Körper. Er ist auch nie vollkommen bilateral-symmetrisch gebaut, sondern zeigt in allen drei Raumdimensionen leichte Abweichungen, die als normale, physiologische Befunde angesehen werden können (s. GAUPP, 1909; KADANOFF & MUTAFOV, 1967; KADANOFF et al. 1971). STIEVE (1921) stellt die Frage nach den Gründen der halbseitigen Unterschiede. Sie können nicht nur die Folge verschiedener funktioneller Inanspruchnahme sein, da Asymmetrien auch bei Organen ohne einseitige Inanspruchnahme bestehen. Möglich ist auch, daß das Überwiegen der rechten Seite beim Menschen eine Folge der besseren Blutversorgung der rechten Körperhälfte oder der linken Hirnhemisphäre ist. Die verschiedenen Abgänge der Blutgefäße vom Aortenbogen legen eine solche Möglichkeit nahe (vgl. VASSAL, 1953).

Über die Ätiologie der Schädelasymmetrien gibt es v. a. zwei Ansichten, wobei die eine in den Schädelasymmetrien nur erbbedingte Teilerscheinungen der Körperasymmetrien sieht (vgl. MARTIN, 1928) und die andere die Asymmetrien auf primär umweltbedingte Faktoren, wie Druck des Beckens auf den Kopf des Fötus (LIEBREICH, 1903; HALLER, 1910) und Frontalskoliosen (total und kombiniert) der Wirbelsäule, zurückführt. Falls der letztgenannte Faktor eine wichtige Rolle spielt, müßten die Asymmetrien im unteren

und oberen Nackengelenk (Kondylen) beginnen und sich sekundär über das Neurokranium zum Viszerokranium (u.a. Gesichtsschädel) ausbreiten. Autoren, die einen Zusammenhang zwischen der Schädelasymmetrie und der Skoliose sehen sind: STAUB (1921), KARVE (1931), ROMICH (1933), INGELMARK (1943), THOM (1961), EMR (1977). Für THOM ist die Schädelasymmetrie sogar eine diagnostischer Hinweis auf eine Skoliose.

Skoliosen treten sowohl physiologisch als auch pathologisch in Erscheinung. Auch andere pathologische Befunde führen am Schädel zu Asymmetrien, die unterschiedlich kompensiert werden. Zu nennen sind hier der Schiefhals, der am häufigsten muskulär bedingt ist (Torticollis, Caput obstipum-Scoliosis capitis s. PETERS, 1908; FROSCHE, 1920; HAGEN-THORN, 1930, SCHLÄFER, 1931), der Schiefkopf (Plagiocephalus s. ZEBROWSKI, 1973), die Hemiatrophie/Hemihypertrophie (s. VASSAL, 1953), die transversale Atlasdislokation (s. WACKENHEIM, 1970; CHARAZINSKA, 1973; JIROUT, 1978) und das craniofaciale Asymmetriesyndrom. Dieser Begriff wurde von DELAIRE (1965) eingeführt (vgl. FERRÉ, 1971).

In den folgenden Abschnitten wird nun auf Arbeiten näher eingegangen, die eine Beziehung der Schädelasymmetrie zu den Kondylen und evtl. der Händigkeit nachzuweisen versuchen und damit eine Verbindung zur Dominanz einer Hirnhemisphäre herstellen. Die Asymmetrie des neuromuskulären Systems wäre hier als das Bindeglied zwischen der Form und Funktion anzusehen.

Schon RIBBE (1885) sieht als eine der Ursachen der Schädelasymmetrie die Asymmetrie der Kondylen an. Die Unterschiede der Kondylen führen zu einer schiefen Kopfhaltung. Das verschobene Gleichgewicht wird durch das Größerwerden einer Schädelhälfte wieder kompensiert,

wobei die der Kopfneigung entgegengesetzte Hälfte größer wird. Dieses Phänomen wird als inverse Asymmetrie bezeichnet.

HANSEMAN (1908) beschreibt die Asymmetrien der Hinterhauptskondylen und stellt einen größeren Symmetriegrad bei unkultivierten Völkern fest. Es wird deshalb der habituellen Kopfhaltung beim Lesen und Schreiben eine bedeutende Rolle für die Asymmetrie zugeschrieben. In der Diskussion wirft TIMANN (1908) ein, daß die Ursache an anderer Stelle gesucht werden müßte. Er sieht ihn in der Händigkeit, da ein 'Rechtser' seinen Kopf links und ein 'Linkser' seinen Kopf rechts hält. In der Antwort darauf betont der Autor noch einmal, daß Lesen und Schreiben nicht die einzige Ursache sind.

SERGI (1909/10) hat durch seine Untersuchungen zeigen können, daß auch außereuropäische Populationen dieselbe Art und denselben Grad der Asymmetrie aufweisen wie europäische, was im Gegensatz zu dem Ergebnis von HANSEMAN steht (vgl. Tab. 16).

INGELMARK (1943) sieht die Ursache der Asymmetrie der Kondylen in unterschiedlichen Druckverhältnissen, die am oberen Kopfgelenk bestehen. Sie sollen sich erst im Laufe der ersten Lebensjahre entwickeln. Asymmetrien des Kopfes, vor allem die der Weichteile, werden keine nennenswerten Einflüsse zugeschrieben. Der Autor sieht vielmehr einen Kausalzusammenhang zur physiologischen frontalen Skoliose, wobei die Asymmetrien im oberen Kopfgelenk sogar als Indikator der Skoliose angesehen werden. Als Beweis dienen die gleichen Seitenunterschiede der Skoliose selbst, der Ankylose, der Atlasassimilation und der Manifestation von Okzipitalwirbeln. Die Skoliose wiederum wird mit der Händigkeit in Beziehung gebracht. Invertierte Skoliosen sollen sich hauptsächlich bei

Linkshändern finden. Funktionelle Linkshänder sind auch als 'Linkser' einzustufen.

Die ganze Argumentationskette des Autors beruht also auf dem Vergleich von Frequenzverhältnissen und ist somit nicht frei von Annahmen. Dies wird von INGELMARK auch nicht verschwiegen. Der Einfluß des Schädels wurde von ihm aufgrund widersprüchlicher Literaturangaben für gering erachtet. Außerdem sind die Unterschiede der Seitendifferenzen oft nur geringfügig. Durch eine genauere Analyse der Ergebnisse lassen sich aber einige Widersprüche aufheben (s. u.).

INGLESSIS (1925) untersucht nur die Seitendifferenzen der Schädelkapazität, wobei er als Medianebene die Falx cerebri annimmt. Ein Hauptfaktor für die Kapazitätsunterschiede sind vor allem die Falxabweichungen in der Okzipitalgegend. Das Überwiegen der linken Hälfte (in 63 % der Fälle) ist somit am meisten dem Hinterhaupt zuzuschreiben. Asymmetrische Formen bedingen nicht zugleich auch verschiedene Kapazitäten. Eine Kompensation ist möglich. Aufgrund der Prozentangaben wird auch hier eine Beziehung zur Händigkeit angenommen.

KARVÉ (1931) stellt auch ein Überwiegen der Wölbung der linken Okzipitalgegend fest, wobei auch eine Verschiebung der linken Schädelhälfte auftritt. Dies wird der häufigeren linken Hinterhauptslage zugeschrieben. Ansonsten zeigen die Asymmetrien keine Bevorzugung einer Seite. Eine Korrelation der einzelnen Punkte am Schädel wird nicht festgestellt.

WOO (1931) vermißt jeden einzelnen Schädelknochen und kommt zu dem Ergebnis, daß die rechte Hälfte des Schädels vor allem frontal und parietal die linke an Größe übertrifft.

KADANOFF et al. (1972) untersuchen die nichtsynostotische Plagiocephalie. Als Extremform ist sie mit ca. 2 % recht selten anzutreffen (vgl. Abb. 29/30). Die Plagiocephalie wird nach der Vorwölbung des Hinterhauptes in zwei Gruppen eingeteilt. Diese Lateralität entspricht nicht immer den Maßen der rechten und linken Hälfte in ihren Größen. Eine Erklärung ist die Verschiebung der Schädelknochen und der anthropologischen Punkte. Unter diesem Gesichtspunkt ist auch die Arbeit von WOO (s. o.) zu sehen. Asymmetrie entsteht durch die Verschiebung, die Vorwölbung oder einer Kombination von beidem. Die Schädelbasis ist symmetrisch geformt. In der Stirngegend treten auch noch öfter Symmetrien auf. Die Asymmetrien der Vorwölbung verhalten sich zur Okzipitalgegend vorwiegend kompensatorisch. Der Ausgleich tritt in der Schläfen-Keilbeingegegend ein.

Das Vorherrschen der kompensatorischen vor der echten Asymmetrie muß bei allen Arbeiten mitbedacht werden, die nur Angaben über einzelne Regionen machen. Ein Überwiegen der rechten Seite steht somit nicht im Widerspruch zu einer Protrusion des Os occipitale auf der linken Seite (vgl. WOO, 1931; KARVÉ, 1931). Außerdem muß zwischen intra- und extrakraniellen Angaben unterschieden werden. Schon LUDWIG (1932) betont, daß das Prävalieren der rechten Seite nur auf der Außenseite seine Gültigkeit hat. Durch Röntgenuntersuchungen wird die Bearbeitung dieses Themenkomplexes zum Teil sehr vereinfacht.

RICHTER (1926) konnte mit der Zweibildmethode zeigen, daß das Rechtsbild das Linksbild überwiegt. Asymmetrien sollen beim Rechtshänder stets zugunsten der rechten Schädelhälfte ausfallen.

LeMAY (1976) führte Computertomographie-Untersuchungen durch und kommt zu dem Ergebnis, daß die Falx cerebri in der Okzipitalgegend häufig nach rechts verschoben ist, also links einen größeren Hemisphärendurchmesser ergibt. Eine Okzipitalprotrusion ist auch links häufiger anzutreffen. Diese Verhältnisse sind in der überwiegenden Zahl der Fälle (Durchmesser: 66 %, Okzipitalprotrusion: 77 %) mit Rechtshändigkeit verbunden. Für die Linkshändigkeit ist diese Beziehung aber nicht so eindeutig. Hier herrscht eine Gleichverteilung zwischen den drei möglichen Zuordnungen (li, re, =) vor.

Aufgrund dieses recht zuverlässigen Ergebnisses muß davor gewarnt werden, allzu schnell Beziehungen zur Händigkeit aufzustellen, wenn die Prozentzahlen dies ungefähr zulassen (vgl. WHITNEY, 1926; JIROUT, 1969 u. 1978). Es ist aber festzuhalten, daß gewisse Beziehungen bezüglich der Schädelasymmetrie zur Händigkeit bestehen, nur sind sie nicht so eindeutig, wie dies von vielen Autoren vermutet wird. Die Frage nach der Hauptursache der Kondylenasymmetrie bleibt damit nach wie vor nicht befriedigend beantwortet. Es werden nur Teilaspekte sichtbar, die die Ursache oder Folge direkter und indirekter Wirkungen erahnen lassen.

Inwieweit nun physiologische Schwankungen der Seitendifferenzen der Kondylen die Formung des Kraniums beeinflussen und umgekehrt soll hier unter Punkt 3.5. näher untersucht werden. Ein positives Ergebnis würde einen Beitrag zur Erklärung der Seitendifferenzen liefern und die Stärke einer Einflußgröße festlegen.

1.4. Fragestellung

Aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungsergebnisse und der divergierenden Aussagen in der Literatur über Condylus, oberes und unteres Kopfgelenk, war es Ziel und Aufgabe in einer eigenen Untersuchung mit Hilfe objektiver Maße und korrelationsanalytischer Methoden Zusammenhänge am unteren, oberen Kopfgelenk und Schädel zu studieren, um die Interdependenzen zwischen der Form und Funktion zu erfassen. Die in der Einleitung schon angedeuteten Fragestellungen waren folgende:

- a) Wie stark ist die Fassung (Kongruenz) im oberen Kopfgelenk ?
- b) Wie sind die korrelativen Beziehungen von Parametern von Atlas und Axis zum Dens axis ?
- c) Gibt es Zusammenhänge zwischen der Form und dem Längsschnitt der Kondylen ?
- d) Gibt es Beziehungen der Kondylenmaße (Fläche, Länge) zu Schädelparametern, vor allem zum Orbitainhalt ?
- e) Gibt es eine Kontingenz (Ereignishaftigkeit) zwischen den Asymmetrien der Kondylen und des Schädels ?

2. MATERIAL UND METHODIK

2.1. Untersuchungsgut

Für die Untersuchung wurden 2 Skelettserien herangezogen. Einmal 50 sicher zusammengehörige Präparate von Atlas-Axis-Schädel (+Kondylen) einer insgesamt 584 Individuen umfassenden Serie, die von RÜSING (1975) anthropologisch bearbeitet wurde. Das Material stammt aus einem fränkischen Reihengräberfeld von Mannheim-Vogelstang. Die Auswahl wurde unter dem Gesichtspunkt des Erhaltungszustandes vorgenommen. Extreme Altersklassen (juvenil und senil) wurden auch nicht berücksichtigt. Da in dieser Serie die Schädel zum Teil recht erheblich zerstört waren, vor allem der viszerale Anteil, mußte für die drei letztgenannten Fragestellungen auf eine andere Schädelserie zurückgegriffen werden, die von RUDE (1978) anthropologisch bearbeitet wurde. Diese Serie umfaßt insgesamt 587 Individuen. Männer und Frauen wurden nach anerkannten anthropologischen Methoden bestimmt. Leider fehlten hier die ersten zwei Wirbel oder waren nicht mehr sicher zuzuordnen. Das Material stammt aus dem Ossuarium der Quirinus-Kapelle von St. Matthias in Trier. Die Gebeine sind zeitlich spätromisch-frühmittelalterlich einzuordnen.

Das Untersuchungsgut wird in dieser Arbeit als 'Kleine Serie' (n = 50, Gelenke) und 'Große Serie' (n = 587, Condylus) bezeichnet.

2.2. Methoden der Merkmalsbestimmung

In der vorliegenden Arbeit wurden sowohl metrische als auch nichtmetrische Variablen berücksichtigt. Bei den metrisch erfaßten Daten handelt es sich um lineare, Flächen- und Raum-Maße sowie um Proportionsmerkmale (Indices) und Winkel. Nichtmetrische Merkmale wurden

vor allem bei der Asymmetriefrage herangezogen. Die metrisch erfaßten Merkmale wurden hier auch in Alternativmerkmale (re-größer, li-größer und gleich groß) umgewandelt, da es sich methodisch als sehr schwierig erwies, ein reproduzierbares Meßsystem zu entwickeln, soweit es die quantitative Charakterisierung der physiologischen Asymmetrie betrifft. Die Differenz zwischen links und rechts muß jeweils größer sein als der Beobachtungsfehler.

Die Auswahl der Merkmale wurde durch die Fragestellung selbst und durch die Arbeiten anderer Autoren bestimmt. Soweit wie möglich wurden standardisierte Meßmethoden übernommen.

Lineare Maße wurden vor allem mit dem Gleit- und Tasterzirkel abgenommen. Manche Meßpunkte und -strecken sind in dem anthropologischen Lehrbuch von MARTIN (1928) angegeben und numeriert (M ..). Die Tiefe der Orbita wurde mit einem in mm kalibrierten Meßstift (Orbitometer) erfaßt. Die Krümmungshöhe der Kondylen und die Tiefe der Atlaspfanne wurden mit einem Koordinaten-Zirkel abgegriffen. Es handelt sich um einen Gleitzirkel (Schublehre) mit einem kleinen senkrechten Stahllineal in einer Führungsschiene. Durch eine Nonius-Einteilung ist es möglich, die Höhe auf 0.1 mm genau zu bestimmen.

Flächenmaße wurden nach der Abdruckmethode nach STOFFT & MÜLLER (1971) bestimmt. Von den 10 Gelenkflächen (siehe Abb. 5) wurden mit einer Aluminiumfolie (Aluka 45/10) jeweils 3 Abdrücke hergestellt und ausgeschnitten. Mit Hilfe einer Präzisionswaage wurden die Aluminiumplättchen gewogen und das arithmetische Mittel aus dem Ergebnis der 3 Meßvorgänge gebildet. Der Meßfehler wurde somit möglichst niedrig gehalten. Die mg-Werte wurden dann mit einem zuvor bestimmten Umrechnungsfaktor (15.84)

in mm^2 -Werte umgerechnet (vgl. STOFFT, 1971).

Die Fläche des Foramen magnum wurde unter der Annahme einer Ellipse aus den Längen- und Breitenmaßen errechnet (vgl. MARTIN, 1928 S. 852). Eine exakte Erfassung wäre nur über eine Photographie und anschließende Planimetrie zu erhalten. Dieser Aufwand ist hier nicht gerechtfertigt.

Raum-Maße, wie die Schädelkapazität und die Orbitalkapazität, wurden nach den Angaben von MARTIN (1928) mit Hirse bestimmt. Hierzu müssen vorher die Foramina mit Watte oder Plastilinmasse verschlossen werden. An der Orbita waren dies der Canalis opticus, die Fissura supra- und infrorbitalis und gelegentlich der Tränennasengang. Der Meßvorgang selbst erfolgte in einem in ml geeichten Standzylinder. Die von ADACHI (1904) angeführte Agar-Agar Methode zur Bestimmung der Orbitakapazität erwies sich als wenig praktikabel. Außerdem wurden auch alle Rauminhalte rechnerisch ermittelt. Bei der Orbita wurde als geometrischer Körper eine Pyramide angenommen, die durch ihre Länge, Breite und Höhe/Tiefe definiert ist. Für die Schädelkapazität gibt es Tabellen (s. HAJNÍŠ, 1964), aus denen über Schädelmodulus die Schädelkapazität abgelesen werden kann. Der Schädelmodulus ist ein Komplexmaß, das sich aus der Summe der Länge, Breite und Höhe des Schädels zusammensetzt.

Winkel wurden mit dem Goniometer erfaßt und zeichnerisch bestimmt. Bei dem Goniometer handelt es sich um zwei Metallbänder, die gelenkig miteinander verbunden sind und in der gemessenen Stellung arretiert werden können.

Indices wurden errechnet.

Die Bestimmung der Asymmetrie erwies sich als ein sehr schwieriges Unterfangen, da das erfassungstechnische Grundproblem bis heute nicht endgültig gelöst ist. Die

primäre Aufgabe ist die Festlegung eines Bezugssystems. Variiert dies aber stärker als die untersuchte Region, so sind die Ergebnisse nicht aussagekräftig. Bei bilateral doppelt ausgebildeten Formen, wie z. B. Orbitae und Kondylen, kann diese Schwierigkeit teilweise umgangen werden, sofern man nur die Formvariationen berücksichtigt und nicht die relativen Stellungen im Raum. So hat KADANOFF et al. (1972) anthropologisch genau definierte Meßpunkte zur Asymmetriestimmung verwendet. Am Ende seiner Untersuchung stellt er als Ergebnis fest, daß die Lateralisation in vielen Fällen nicht mit den Erwartungen übereinstimmt, die auf die Kranioskopie begründet sind. Es wurde deshalb die ganze Untersuchung wiederholt, wobei diesmal eine konstruierte Medianlinie als Sagittalebene verwendet wurde und nicht die Sagittalnaht. Die Punkte Glabella (g), Nasion (n) und Basion (ba) lagen meistens auf dieser Linie. Die Lokalisation dieser Punkte ist der Abb. 6 zu entnehmen.

In der Röntgenologie werden die Auswertungen von Schädelasymmetrien mit speziellen Meßschablonen (Kraniometern, die ein polares und kartesisches Koordinatensystem enthalten) vorgenommen (s. HEINTEL, 1971; LeMAY, 1977). Eine andere Methode ist die Symmetriestimmung mit Hilfe einer Umkehrpause (GUTMANN, 1981; Zweibildmethode RICHTER, 1926). Das Problem liegt aber auch hier in der Aufnahmetechnik, d. h. in der Ausrichtung auf den Zentralstrahl und der Bestimmung des Nullpunktes, d. h. im Anlegen der Meßschablone oder des Vergleichsröntgenbildes.

In der vorliegenden Arbeit wurden solche Schädel aus der 'Großen Serie' ausgewählt, wo einer der Kondylenparameter leicht asymmetrisch ausgebildet war. Diese Schädel wurden in einen Kubuskraniophor eingespannt (s. MARTIN, 1928: Ein Kubuskraniophor ist ein Gerüst in Kubusform in dessen Mitte sich ein eingebauter Spezialständer befindet) und

folgendermaßen ausgerichtet:

Die Median-Sagittalebene wurde durch die Punkte Glabella (g), (Nasion-n), Basion (ba), (Opisthion-o) und evtl. Prosthion (pr) festgelegt (vgl. Abb. 6). Diese Punkte erwiesen sich schon bei KADANOFF (1972) als relativ konstant. Alle anderen Ebenen wurden hierzu senkrecht ausgerichtet. Die Sagittalebene wurde parallel zur Tischplatte eingestellt. Zur besseren Übersicht wurde das Koordinatensystem selbst auf die konventionelle Frankfurter Ohr-Augen-Ebene bezogen, d. h. die linke O-A-Ebene wurde parallel zur Tischkante ausgerichtet. Diese Maßnahme hat auf das Ergebnis aber keinen Einfluß. Die ausgewählten Merkmale wurden meistens mit der Horizontiernadel eines Diagraphen (Perigraphen) abgegriffen und ihre relative Lage bestimmt. Die korrespondierenden Punkte sind dann links oder rechts in der Frontalebene weiter ventral und in der Transversalebene weiter kranial gelegen. Die Sagittalebene teilt die Punkte schon in links oder rechts ein. Das Ergebnis wurde soweit wie möglich mit einem Zirkel kontrolliert, der auf das Basion (ba) oder das Nasion (n) aufgesetzt wurde.

Wegen der erwähnten Problematik wurden die Seitendifferenzen nur qualitativ betrachtet und ein Unterschied von mindestens 0.5 mm gefordert. Eine Pseudogenauigkeit würde nur zu Pseudoasymmetrien führen. Um auch die quantitativ erfaßten Merkmale in eine vergleichbare Matrix zu bringen, wurden sie nominalskaliert, d. h. in die 3 Merkmalsklassen (rechts größer, links größer und gleich groß) eingeteilt. Für jedes Merkmalspaar wurde ein Kontingenzkoeffizient errechnet (s. Punkt 2.3.).

Die Photos der Bilddokumentation wurden alle mit einer Leica-LA era und einem Balkenvorsatz aufgenommen (Film: Ilford FP 4 Din 21, Einstellung: 11/30). Die Beleuchtung wurde mit 2 Osram Nitraphot SR Birnen (220-250 Watt) in 30 cm Abstand vorgenommen.

Die Maße im Einzelnen (vgl. hierzu Abb. 1 - 6):

Axis

1.-4. Gelenkflächengröße kranial (oben), kaudal (unten)
und rechts und links

Abdruckmethode nach STOFFT & MÜLLER (1971)

5. Länge der Gelenkfläche oben rechts
Gleitzirkel. Größte Entfernung der Gelenkflächenränder in
ventro-dorsaler Richtung.

6. Breite der Gelenkfläche oben rechts
Gleitzirkel. Größte Entfernung der Gelenkflächenränder
senkrecht zu 5.

7. Gelenkflächenabstand außen-lateral, oben
Gleitzirkel. Größte Entfernung der Ränder beider
Gelenkflächen in der Horizontalebene.

8. Gelenkflächenabstand innen-medial, oben
Gleitzirkel. Kleinste Entfernung der Ränder beider
Gelenkflächen in der Horizontalebene.

9. Gelenkflächenabstand maximal unten
Gleitzirkel. Größte Entfernung der inferioren
Gelenkfortsätze.

10. Densbreite
Gleitzirkel. Geringste Entfernung der äußeren Punkte der
Denstaille in der Nähe des Sockels.

11. Denshöhe
Gleitzirkel. Geradlinige Entfernung vom Apex dentis bis
zur Epiphysenlinie.

12. Korpus-Dens-Höhe
Gleitzirkel. Geradlinige Entfernung vom Apex des Dens
bis zur Unterkante des Wirbelkörpers.

13. Gelenkachsenwinkel (GAW)

Goniometer. Neigungswinkel der Gelenkflächen in der Frontalebene.

Atlas

14.-17. Gelenkflächengröße kranial (oben), kaudal (unten)
rechts und links

Abdruckmethode nach STOFFT & MÜLLER (1971)

18.-19. Länge der Gelenkfläche oben, rechts und links
Koordinaten- oder Gleitzirkel. Für die Bestimmung der größten Längenausdehnung der Gelenkflächen in ventro-dorsaler Richtung wurde auf der Gelenkfläche eine dünne Linie eingezeichnet, die die Gelenkfläche in zwei annähernd gleich große Hälften teilt und der Längsachse entspricht.

20.-21. Tiefe der Gelenkfläche oben, rechts und links
Koordinatenzirkel. Größte Tiefe unter der Längsachse.

22.-23. Breite der Gelenkfläche oben, rechts und links
Gleitzirkel. Größte Entfernung der Gelenkflächenränder senkrecht zur Längsachse. Bei 'geigenförmigen' Gelenkflächen wurde das arithmetische Mittel aus beiden Breiten gebildet.

24.-25. Gelenkflächenabstand vorne und hinten
Gleitzirkel. Entfernung der Schnittpunkte der Längsachsen mit dem vorderen und hinteren Rand der Atlasgelenkfläche.

26. Gelenkflächenabstand maximal
Gleitzirkel. Abstand zwischen den am meisten lateralwärts gelegenen Punkten der Begrenzungslinie der Atlasgelenkflächen.

27. Längsdurchmesser (Sagittaldurchmesser)

Gleitzirkel. Geradlinige Entfernung vom Tuberculum anterius bis zum Tuberculum posterius. Im Gegensatz hierzu ist die Größe des Dornfortsatzes des Axis sehr variabel.

28. Konvergenzwinkel

Zeichnerische Bestimmung aus den vorgenannten Maßen. Winkel den die beiden Längsachsen der Atlasgelenkflächen miteinander bilden.

Kondylen

29.-30. Gelenkflächengröße rechts und links

Abdruckmethode nach STOFFT & MÜLLER (1971)

31.-33. Länge rechts und links und $\frac{re + li}{2}$

Koordinaten- oder Gleitzirkel. Analog zu Maß 18.-19.

34.-36. Höhe rechts und links und $\frac{re + li}{2}$

Koordinatenzirkel. Die Kondylenhöhe entspricht der größten Höhe der Längskrümmung der Kondylen über der Längsachse.

37.-39. Breite rechts und links und $\frac{re + li}{2}$

Gleitzirkel. Analog zu Maß 22.-23.

40.-41. Gelenkflächenabstand vorne und hinten

Gleitzirkel. Analog zu Maß 24.-25.

42. Gelenkflächenabstand maximal

Gleitzirkel. Analog zu Maß 26.

43. Kondylenwinkel

Zeichnerische Bestimmung aus den vorgenannten Maßen. Winkel den die beiden Längsachsen der Kondylen miteinander bilden.

44.-45. Längen-Höhen-Index der Kondylen (LHI) re u. li

$$\text{LHI} = \frac{\text{Kondylen-Höhe} \times 100}{\text{Kondylen-Länge}}$$

Der LHI der Kondylen gibt das Verhältnis von Länge und Höhe der Kondylen an. Hohe Indexwerte: hohe und kurze Kondylen. Niedrige Indexwerte: flache und lange Kondylen.

46.-47. Längen-Breiten-Index der Kondylen (LBI) re u. li

$$\text{LBI} = \frac{\text{Kondylen-Breite} \times 100}{\text{Kondylen-Länge}}$$

Der LBI gibt das Verhältnis von Länge und Breite der Kondylen an. Hohe Indexwerte: breite und kurze Kondylen. Niedrige Indexwerte: lange und schmale Kondylen.

48.-49. Breiten-Höhen-Index der Kondylen (BHI) re u. li

$$\text{BHI} = \frac{\text{Kondylen-Höhe} \times 100}{\text{Kondylen-Breite}}$$

Der BHI gibt das Verhältnis von Höhe und Breite der Kondylen an. Hohe Indexwerte: flache und breite Kondylen. Niedrige Indexwerte: hohe und schmale Kondylen.

Schädel

50. Länge des Foramen magnum (M 7)

Gleitzirkel. Geradlinige Entfernung des Basion (ba) vom Opisthion (o).

51. Breite des Foramen magnum (M 16)

Gleitzirkel. Geradlinige Entfernung der beiden Seitenränder des Foramen magnum, da, wo sie am meisten seitlich ausgeladen sind.

52. Fläche des Foramen magnum

Unter der Annahme einer Ellipse aus Maß 50. und 51. errechnet.

53. Größte Hirnschädellänge (M 1)

Tasterzirkel. Geradlinige Entfernung der Glabella (g) zum Opisthokranion (op).

54. Basion-Bregma-Höhe (M 17)

Tasterzirkel. Geradlinige Entfernung des Basion (ba) vom Bregma (b).

55. Größte Hirnschädelbreite (M 8)

Tasterzirkel. Größte Breite senkrecht zur Mediansagittalebene, wo sie sich befindet, jedoch mit Ausnahme der Linea temporalis inf. und deren nächster Umgebung. Die beiden Meßpunkte (Eurya) müssen in einer Horizontal- und Frontalebene liegen.

56. Schädelkapazität (M 38)

Bestimmung mit Hirsefüllung nach MARTIN (1928)

57. Schädelmodulus

Errechnetes Maß aus Länge (53) + Höhe (54) + Breite (55)

58.-59. Orbitalbreite (M 51) rechts und links

Gleitzirkel. Entfernung vom Maxillofrontale (mf) schräg nach außen bis zum Ektokonchion (ek).

60.-61. Orbitalhöhe (M 52) rechts und links

Gleitzirkel. Geradlinige Entfernung des oberen vom unteren Augenhöhlenrand. Das Maß steht auf der Orbitalbreite senkrecht. Die Meßpunkte liegen an der Umschlagfalte der Orbitalränder.

62.-63. Orbitaltiefe (M 53) rechts und links

Orbitometer. Geradlinige Entfernung des lateralen Randes des Foramen opticum (Knochenbrücke) von der Mitte des unteren Orbitalrandes.

64.-65. Orbitalkapazität (M 53/3) rechts und links

Bestimmung mit Hirsefüllung nach MARTIN (1928).

66.-67. Orbitalkapazität rechts und links

Errechnetes Maß aus Breite (58.-59.), Höhe (60.-61.) und Tiefe (62.-63.) unter der Annahme einer Pyramide.

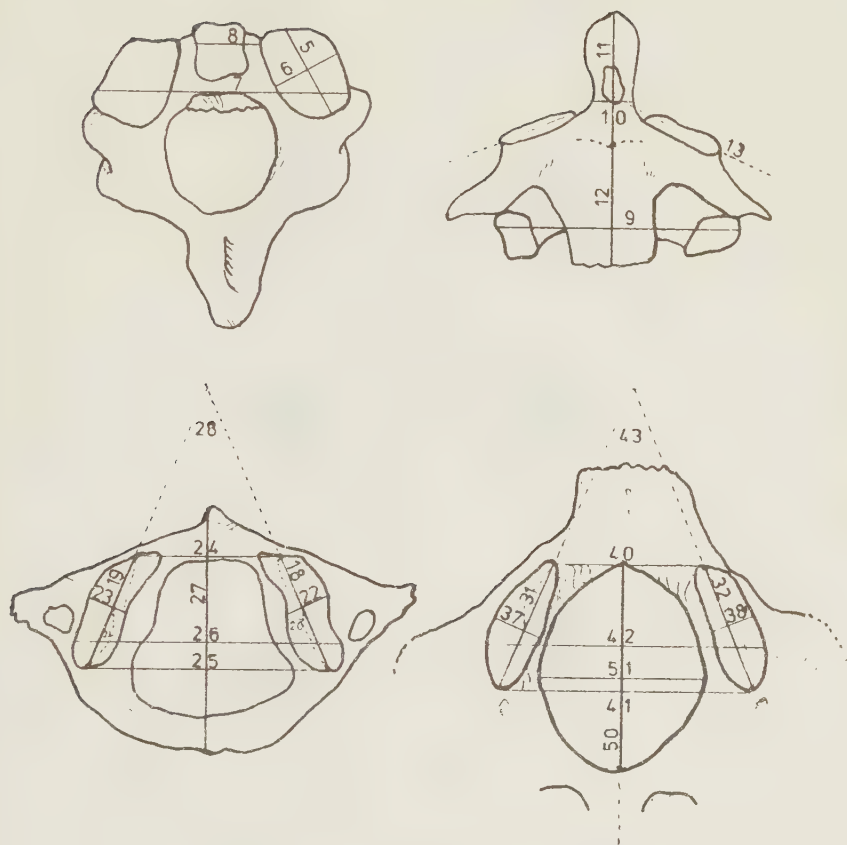
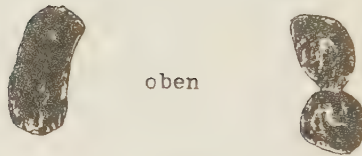
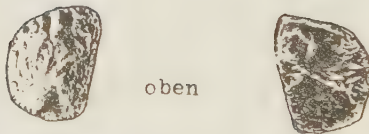


Abb. 1-4: Meßpunkte und Meßstrecken an Axis (oben), Atlas (unten links) und den Kondylen (unten rechts)



ATLAS



AXIS



Abb. 5: Die Gelenkflächengrößen an Atlas, Axis und den Kondylen. Beispiel der Abdruckmethode.

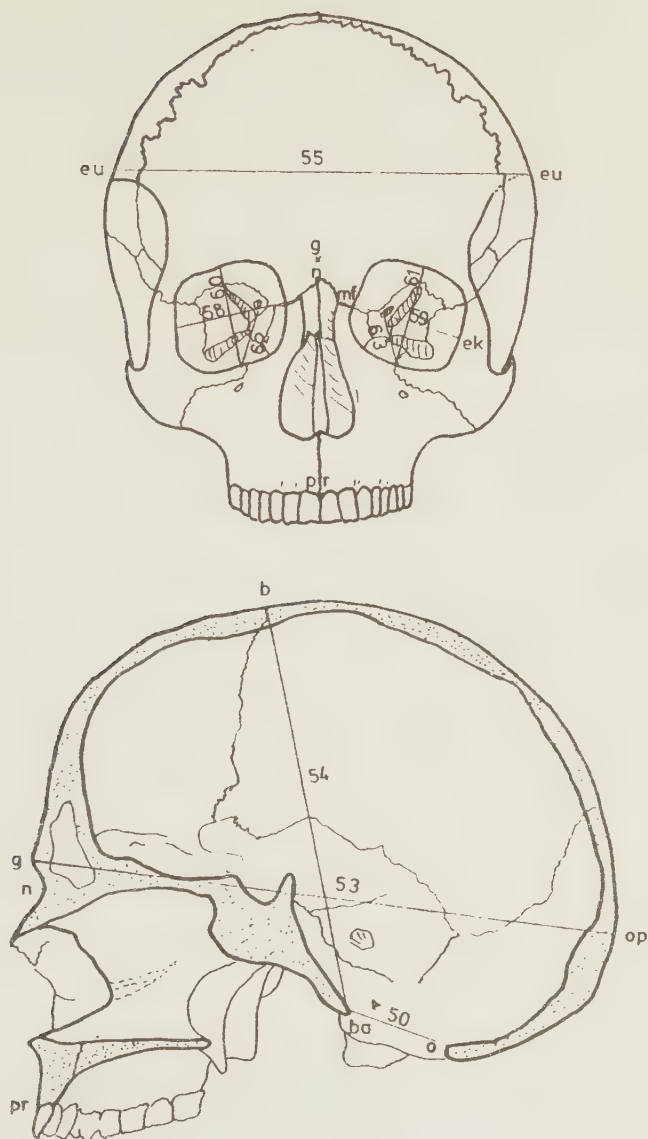


Abb. 6: Meßpunkte und Meßstrecken am Schädel
Frontalansicht (oben), Sagittalschnitt (unten)

Asymmetriemaße

Die Asymmetriemaße wurden nur qualitativ erfaßt. Die Einteilung erfolgte nach den Kategorien: rechts größer links größer, gleich groß. Bei der relativen Lage im Raum wurde jeweils der kraniale (Horizontalebene) und ventrale (Frontalebene) Punkt dem Links-Rechts-Vergleich unterzogen. Die Auswahl der Maße wurde zum größten Teil durch die Literatur bestimmt.

Kondylenmaße. Absolute Größen der Länge, Breite und Höhe.
vgl. SERGI (1909/10), BERNHARD (1976)

Kondylenmaße. Relative Lage im Raum: ventral, lateral und kranial.

vgl. INGELMARK (1943), INGELMARK & LEWIN (1968)

Lage des Schnittpunktes des Gelenkachsenwinkels (GAW) zur Mediansagittal-Ebene.

vgl. WACKENHEIM (1970)

Half-perimeter (Halber Umfang). Bogenmaß von der Glabella (g) zum Inion (Punkt zwischen den beiden Lineae nuchae sup.) oder einem entsprechenden Punkt.

vgl. ABLER (1976)

Protrusion der frontalen, parietalen und okzipitalen Region.

vgl. WEISS (1923/24), KADANOFF et al. (1972),
LeMAY (1977)

Lage des Bregma (b) zur Mediansagittal-Ebene.

vgl. CORAINI (1901), SCHREIBER (1907)

Lage der Protuberantia occipitalis int. zur Med.sag.-Ebene.

vgl. INGLESSIS (1925), LeMAY (1977)

Lage des Auriculare (au), Mandibulare und Mastoideale (ms) zur Frontalebene

vgl. KARVE (1931), DELAIRE et al. (1965)

Lage der Gaumennaht und des Prosthion (pr)

vgl. MARTIN (1928), KADANOFF & JORDANOV (1971)

Abweichungen der Nasenscheidewand und Nasenbeinnaht

vgl. WELCKER (1882), WEISS (1923/24)

Stärke der Fossa canina

vgl. LIEBREICH (1908)

Stärke der Maxilla, v. a. des Processus zygomaticus.
Durchmesser in kranio-kaudaler Richtung

vgl. LIEBREICH (1908), VIG & HEWITT (1974)

Orbitalmaße. Absolute Größen der Breite, Höhe und Tiefe

vgl. KARVE (1931), KADANOFF & JORDANOV (1977)

Lage des Orbitaunterrandes zur Frontal- und Horizontal-
ebene

vgl. LIEBREICH (1908), MASLOWSKI (1964)

Größe des Foramen ovale

vgl. WIEGAND (1965), LANG (1981)

Größe des Foramen jugulare

vgl. OLIVIER & DEBOULIN (1975)

Größe des Canalis condylaris posterior

vgl. MISCH (1905), HANSEMAN (1908)

Größe des Foramen parietale

vgl. BOYD (1930), EDINGER (1933) et al.

2.3. Methoden der statistischen Aufarbeitung

Die gewonnenen Meßdaten wurden auf Lochkarten übertragen und einer statistischen Analyse unterzogen. Die Durchführung der Rechnungen erfolgte am Rechenzentrum Mainz und mit Taschenrechnern.

Folgende Programme wurden angewandt:

- a) Häufigkeitsstatistik mit Lokations- und Dispersionsmaßen

n = Anzahl der Individuen

$\bar{x}$ = Mittelwert

s_x = Standardabweichung

$s_{\bar{x}}$ = Standardfehler des Mittelwertes

v = Variationskoeffizient

- b) Produktmomentkorrelation nach PEARSON

r = Korrelationskoeffizient

- c) Kontingenztafeln

Für jedes Variablenpaar (qualitative Merkmale) wurde auch ein Kontingenzkoeffizient (c) errechnet. Um diesen Koeffizienten mit dem Korrelationskoeffizienten vergleichbar zu machen, muß er im vorliegenden Fall mit dem Faktor 1.225 multipliziert werden.

- d) Regressionsanalyse

b = Regressionskoeffizient

a = Achsenabschnitt

- e) Signifikanzprüfungen

Größtenteils wurden die Signifikanzen schon vom Rechner geprüft. Für die Seitendifferenzen (Kondylen, Orbita) wurde der Chi-Quadratstest mit Kontinuitätskorrektur angewandt.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1. Morphometrie der Gelenkflächen des oberen Kopfgelenkes

Die Tabelle 1 gibt alle gemessenen und errechneten Größen wieder. Es ist jeweils der Mittelwert ($\bar{x}$), der Standardfehler des Mittelwertes ($s_{\bar{x}}$) sowie die Standardabweichung (s_x) angegeben. Die Korrelationskoeffizienten (r) der korrespondierenden Maße von Atlas und Kondylen sind in der mittleren Spalte aufgeführt. Der Kondylenwinkel, beziehungsweise der Konvergenzwinkel des Atlas, wurde zeichnerisch bestimmt. Der Krümmungsradius und die Dioptriewerte wurden anhand von entwickelten Formeln (s. Abb. 7) errechnet. Zum Vergleich wurden in Tab. 2 entsprechende Werte aufgeführt, die STOFFT (1976) an überknorpeltem Material ermittelte. Aus den vorhandenen Daten wurde auch hier der Krümmungsradius und Dioptriewert errechnet.

Die Werte zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Angaben in der Literatur, obwohl sie aufgrund unterschiedlicher Meßdefinitionen nicht immer direkt vergleichbar sind. WELKER (1910) gibt für Männer Längenwerte der Kondylen von 23.4 mm re und 23.3 mm li an. Sie liegen etwas über den eigenen Werten. Dasselbe gilt für die entsprechenden Atlaswerte. Sie betragen bei WELKER 22.3 mm re und 22.2 mm li. Als Meßstrecke wurde von dem genannten Autor aber nicht immer die kürzeste Verbindung zwischen dem Vorder- und Hinterende genommen, so daß z. B. bohnenförmige Kondylen zwangsläufig größere Längendimensionen bekommen. Dies führt auch zu einer Erhöhung des Mittelwertes. Ungefähr 3 mm größer sind die Werte, die STOFFT für die Länge angibt. Diese Daten wurden an der Knorpelfläche und nicht an der Knochenfläche gewonnen. Diese Tendenz, daß das nicht mazerierte Material von STOFFT

Tab. 1 : Korrespondierende Maße (in mm) und ihre Korrelationskoeffizienten an Atlas (re Spalte) und den Kondylen (li Spalte). n = 50, mazerierte Gelenkflächen.

Merkmal		Kondylen			r	Atlas		
		$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	s_x		$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	s_x
Länge	li	22.65	0.35	2.48	0.90	21.23	0.30	2.10
	re	22.92	0.40	2.85	0.92	21.73	0.40	2.80
Höhe/Tiefe	li	5.58	0.26	1.58	0.85	4.69	0.17	1.19
	re	6.08	0.20	1.41	0.84	5.02	0.18	1.24
Breite	li	10.58	0.11	0.75	0.35	9.65	0.08	0.56
	re	10.46	0.10	0.70	0.34	9.69	0.08	0.54
Fläche	li	252.16	5.05	35.36	0.71	206.88	3.72	26.08
	re	258.56	5.05	35.52	0.78	205.60	3.77	26.40
Abstand - vorne		25.80	0.44	3.08	0.82	24.69	0.40	2.80
Abstand - hint.		42.72	0.33	2.30	0.55	40.69	0.36	2.52
Abstand - max.		50.60	0.31	2.17	0.82	48.88	0.38	2.67
Kondylenwinkel/ Konvergenzwinkel		54°				54°		
Krümm.radius (Dioptrie)	li	14.28		(140)		14.35		(-139)
	re	13.84		(144)		14.27		(-140)

Tab. 2 : Korrespondierende Maße (in mm) an Atlas (re Spalte) und den Kondylen (li Spalte). n = 11, überknorpelte Gelenkflächen. (Nach STOFFT, 1976)

Merkmal		$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	s_x		$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	s_x
Länge	li	25.8	1.0	3.3		25.0	0.98	3.27
	re	25.4	0.84	2.7		23.9	0.90	3.01
Höhe/Tiefe	li	6.6	0.66	2.2		5.7	0.59	2.0
	re	6.5	0.41	1.4		5.4	0.47	1.6
Fläche	li	273.	8.7	29.0		237.0	0.99	34.0
	re	275.0	11.0	35.0		205.0	0.99	33.0
Kondylenwinkel/ Konvergenzwinkel		47° - 60°						
Krümm.radius (Dioptrie)	li	15.91		(126)		16.55		(-121)
	re	15.66		(128)		15.92		(-126)

größere Werte zeigt, ist bei allen Merkmalen zu konstatieren. Die verschiedenen Größenangaben können ihre Ursache auch in den unterschiedlichen Stichproben (-größen u. -art) haben und sollen deshalb nicht weiter interpretiert werden. Auf die Seitendifferenzen wird im Asymmetriekapitel (s. Punkt 3.5.) noch genauer eingegangen.

Bezüglich der Höhe/Tiefe liegen die Werte um 5 mm. WELKER gibt für die Kondylenhöhe 4.5 mm und für die Pfannentiefe 4.8 mm an. Allerdings wurden diese Werte an unterschiedlichen Kollektiven gewonnen, so daß der größeren Pfannentiefe keine funktionelle Bedeutung zukommt. Im Gegensatz zu WELKER und STOFFT ist in der vorliegenden Arbeit der linke Condylus im Durchschnitt etwas flacher als der rechte. Nach WELKER hat aber der rechte Condylus in bezug zur Kondylenlänge die relativ größere Höhe und bei der Arbeit von STOFFT beträgt der Unterschied nur 0.1 mm. Dies liegt schon unterhalb der Meßgenauigkeit. Der Standardfehler des Mittelwertes beträgt hier schon 0.66 mm und 0.41 mm.

Die Breitenwerte liegen um 10 mm. Denselben Wert gibt auch WELKER für den Condylus an. Als Meßstrecke wurde immer die größte Breite genommen. Beim Atlas wurde aber die kleinste Breite gemessen, da der Atlas öfter Einschnürungen zeigte (vgl. Punkt 1.1.). Somit liegt der Wert von 7.2 mm deutlich unter dem in der Tab. 1 angegebenen (9.7 mm). Wie schon erwähnt (s. Punkt 2.2.) wurde bei der vorliegenden Arbeit immer ein Durchschnittswert bei 'geigenförmigen' Atlanten oder Kondylen ermittelt. Die kleinste Breite der Atlasgelenkfläche liegt nach WELKER im allgemeinen nur wenig hinter der Mitte, wohingegen die Lage der größten Breite der Gelenkflächen des Condylus unterschiedlich aber prozentual

gleichmäßig vorne, hinten und in der Mitte verteilt ist. Bei STOFFT fehlen Angaben zur Breitendimension.

Genauere Angaben zur Flächengröße finden sich nur bei STOFFT (1976, 78) und BERNHARD (1976). WELKER (1910) schreibt nur, daß der linke Condylus überhaupt größer, d. h. der Flächeninhalt ausgedehnter sei, wobei sich dieses Ergebnis schon am Fötus feststellen ließe. Genau umgekehrte Verhältnisse zeigt die Arbeit von STOFFT. In der vorliegenden Arbeit ist der Unterschied nicht größer als der Standardfehler des Mittelwertes. Bei den tragenden Atlasflächen ist der Flächeninhalt ca. 50 mm^2 je Seite kleiner als die korrespondierende Kondylenfläche. Hier liegen die absoluten Größen bei 252 mm^2 li und 258 mm^2 re. Diese Differenz der artikulierenden Gelenkflächen wurde von STOFFT als Ausdruck der im Kopfgelenk vorhandenen Beweglichkeit gedeutet. Sie stellt sogar den dominierenden Faktor dar.

Auch alle anderen bisher erwähnten Größenangaben waren am Atlas kleiner dimensioniert. Daß dies beim Krümmungsradius genau umgekehrt ist, ja sogar sein muß, wird noch erörtert. Bezüglich des Längenunterschiedes schreibt FICK (1904 S.90), daß die Längsausdehnung der Okziputgelenkflächen (gemeint sind die Kondylen) von vorn nach hinten etwas größer als die der Atlaspfanne ist und schließt daraus auf eine ziemlich freie Beweglichkeit des Okziput im Sinne der Vor- und Rückbeugung.

Die Abstandsmaße liegen vorne (ventral) bei ca. 25 mm, hinten (dorsal) bei ca. 40 mm. Der Maximalabstand beträgt ca. 50 mm. Über die genauen Angaben informiert die Tab. 1. Bei FICK (1904) liegen die Werte für die Kondylen vorne zwischen 21 - 25 mm und hinten zwischen 30 - 34 mm und bei BERNHARD (1976) vorne im Mittel bei 23.84 mm, hinten bei 43.11 mm und als Maximalabstand bei 50.96 mm.

Aus den vorhandenen Daten läßt sich der Kondylen- und Konvergenzwinkel ermitteln. Obwohl, wie schon erwähnt, die absoluten Maße beim Atlas durchweg kleiner sind, ist dies beim Winkel selbst nicht der Fall. Sowohl der Kondylen- als auch der Konvergenzwinkel liegen bei 54° . Eine Angabe über den Konvergenzwinkel findet sich bei WELKER (1910). Der Wert beträgt 51° . Für den Kondylenwinkel liegt er bei 49° , also etwas darunter, d. h. der Winkel ist spitzer. Bei STOFFT (1976) liegt der Kondylenwinkel zwischen 47° - 60° . KNESE (1936) schreibt, daß der Konvergenzwinkel oft größer ist als der Kondylenwinkel. Diese geringen Unterschiede können allein schon in der Meßtechnik begründet sein. Am Atlas ist oft nicht leicht zu entscheiden, ob der am meisten ventral oder medial liegende Punkt als das Ende der Halbierungslinie auf dem Atlas angenommen werden soll. Wird konsequent nur der medial gelegene Punkt gemessen, so ergeben sich zwangsläufig etwas größere Winkelmaße. Aufgrund dieses Winkels vergleicht WELKER (1910) die Vor- und Rückbewegung mit den Bewegungen eines Kahnes oder Schlittens, der vorne spitz, rückwärts aber ohne Spitze ist. Für andere Autoren (vgl. GOEB, 1956; WOLFF, 1981 et al.) ist der Winkel ein Hindernis für das problemlose Gleiten bei Flexionsbewegungen, da er zu Verkantungen prädisponiert. Die Gefahr der 'Vereckung' wird durch die kleinere Gelenkfläche des Atlas wieder vermindert.

Von entscheidender Bedeutung für die Gelenkmechanik in der Sagittalebene ist das Verhältnis der Krümmungsradien der Längsausdehnung von den korrespondierenden Gelenkflächen. Damit der Atlas die Kondylen in sich aufnehmen kann, muß sein Radius etwas größer sein, weil sonst der Atlas den Condylus nur mit seinen Vorder- und Hinterkanten berühren würde. Die Differenz der Radien entspricht der Knorpelschicht an beiden Gelenkflächen zusammen. Sie muß demnach für eine getrennte Betrachtung halbiert werden.

Die errechnete Knorpeldicke beträgt 0.25 mm. Laut FICK (1904) liegt der Knorpelbelag zwischen 0.5 - 1 mm bei direkter Messung. Da STOFFT die Messungen schon an überknorpeltem Material vornahm, müßte hier die Differenz minimal ausfallen. Sie liegt aber im Durchschnitt bei 0.45 mm. Rechts allerdings nur bei 0.26 mm. In jedem Fall ist die Differenz der Krümmungsradien wesentlich geringer als die absolute Höhendifferenz. Die Krümmungsradiendifferenz entspricht dem tatsächlichen Spalt zwischen den Gelenkflächen. Daß ein Spalt gefordert werden muß, geht aus den Überlegungen von WOLFF (1981, S.17) hervor: „Geführte und gerichtete Bewegungen zwischen zwei festen Körpern (hier z. B. Knochen mit ihren Gelenkoberflächen Anm. des Verf.) sind nur möglich, wenn zwischen ihnen das Gleichgewicht zwischen Distanz und Haftung eingehalten werden kann. Die Distanz, die oft nur als virtueller Spalt die Körper voneinander trennt, ist erforderlich, damit überhaupt Bewegung möglich ist. Die Haftung ist die Voraussetzung dafür, daß die Bewegung geführt abläuft“. Bezüglich der absoluten Werte des Krümmungsradius liegen nur wenige Vergleichsdaten vor, die zudem oft nur an Einzelindividuen gewonnen wurden. Anhand einer Röntgenaufnahme ermittelt KNESE (1948) einen Wert von 13 mm für den Condylus und 15 mm für den Atlas. Hier würde jeweils 1 mm auf den Knorpel entfallen. In der Zusammenfassung (S. 80) schreibt der vorgenannte Autor dem Condylus und Atlas die gleichen Krümmungsradien zu. Dieses Ergebnis muß auf den Knorpel bezogen werden. Auch WELKER (1910, S.54) schreibt: „Die beschriebene Form (der Kondylen) entspricht auch der Kurve an den oberen Gelenkflächen des Atlas, nur erscheint sie etwas kürzer“. Es muß aber berücksichtigt werden, daß die Annahme eines einzigen Krümmungsradius nur für den Fall gilt, wo die größte Höhe/Tiefe in der Mitte der Längsachse der Kondylen liegt, ansonsten ist der Krümmungsradius nur ein gemittelter. Bei gleichmäßiger Krümmung besteht das größte Bewegungsausmaß (KNESE, 1948).

Die Mehrzahl der Präparate der 'Kleinen Serie' erfüllte diese Forderung. Extremtypen von Gelenkflächen lagen nicht vor. KNESE (1948) gibt an einem Beispiel für den Condylus einen ventralen Krümmungsradius von 13 mm und einen dorsalen von 21 mm an. Die unterschiedlichen Formen und die daraus sich ergebenden Konsequenzen für die Gelenkmechanik werden in einem der nächsten Kapitel (Punkt 3.3.) ausführlich besprochen.

Die vorliegende Untersuchung zeigt eine Bestätigung der guten Passung (Kongruenz) der Gelenkflächen, die von einigen Autoren meist nur qualitativ und kasuistisch beschrieben wurde, hier aber quantitativ belegt werden konnte. In der Sagittalebene ist somit nur ein Drehgleiten möglich. Es sei nochmals betont, daß nur beim Kondylen- oder Konvergenzwinkel und den Krümmungsradien die absoluten Zahlen verglichen werden dürfen. Der Abb. 5 - 6 der Arbeit von STOFFT (1976) ist zu entnehmen, daß bei dem wichtigen Höhenparameter die Schwankungen des Condylus und Atlas gleichgerichtet sind, trotz unterschiedlicher absoluter Größen. Die in Tab. 1 aufgeführten Korrelationskoeffizienten sind sehr hoch (z. B. Länge: $r = 0.9$). Sie unterstreichen die enge Beziehung zwischen Atlas und Condylus. Sie ist sogar größer als die zwischen linkem und rechtem Condylus (s. Tab. 18). Eine Ausnahme macht lediglich die Breitendimension. Der Korrelationskoeffizient beträgt nur 0.35. Die stärkeren Einschnürungen am Atlas und die daraus sich ergebenden Meßschwierigkeiten wurden schon erwähnt und machen das Ergebnis z. T. verständlich. Eine weitere Erklärung ist die größere Variation dieser Dimension am Atlas. Eine geteilte Gelenkfläche des Atlas ist nur in 7 % auch mit einer Teilung des Condylus verbunden (vgl. Abb. 11- 14). Auf die Gelenkmechanik, besonders was die Sagittalflexion und -extension betrifft, hat dies keinen Einfluß.

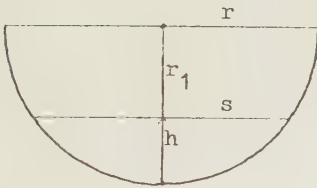
3.2. Morphometrie des unteren Kopfgelenkes

Die Tab. 3 stellt z. T. die Fortsetzung von Tab. 1 dar. Für das untere Kopfgelenk wurden auch ein- und zweidimensionale Parameter ermittelt.

Die Gelenkflächengröße der unteren Atlasgelenkfläche ist hier nur 21.5 mm^2 li und 23.3 mm^2 re kleiner als die korrespondierende Gelenkfläche auf dem Axis. Die Differenz ist nur halb so groß. Die Verhältnisse liegen hier aber genau umgekehrt wie im oberen Kopfgelenk. Nach STOFFT & MÜLLER (1971) setzt sich dieser Trend über die ganze Wirbelsäule fort. Besonders ausgeprägt sind die Unterschiede bei C_7/Th_1 und ab Th_{12} werden die Differenzen immer größer. Hieraus wurde der Schluß gezogen, daß das 7. Intervertebralgelenk den stabilen Sockel darstellt, auf dem die bewegliche Halswirbelsäule ruht. Bei wenigen Anatomen hieß deshalb der 7. Halswirbel zu recht Atlas. Der erste wurde dann Epistropheus genannt (Vgl. WELKER, 1910).

Bezüglich der Längen- und Breitenmaße der lateralen Gelenkfläche liegen m. W. keine Vergleichsdaten vor. Die Tab. 3 enthält die Werte der rechten Gelenkfläche. Die Breite beträgt 15.26 mm und die Länge 17.85 mm . Die Gelenkgröße ist also nur wenig länger als breit, d. h. nahezu rund oder quadratisch. PUTZ & POMAROLI (1972) geben ihre Durchmesser nur in Dioptriwerten an (s. Tab. 4). Aus ihnen kann nie der tatsächliche Durchmesser errechnet werden, da unterschiedliche Längen und Breiten denselben Krümmungsradius haben können. Die vorliegende Arbeit füllt hier somit eine Lücke. Jetzt ist es möglich die Höhen oder Tiefenwerte zu ermitteln, was zur Veranschaulichung der Dioptriwerte beiträgt. Ein Beispiel mag dies verdeutlichen: Ist eine Gelenkfläche 20 mm lang und weist eine Krümmung von 3 Dioptrie auf, so errechnet sich

Abb. 7: Formeln zur Umrechnung von Krümmungsradien (Dioptriewerten) in Krümmungshöhen und umgekehrt.



$$r = \frac{2}{D} = \text{Krümmungsradius}$$

$$h = r - r_1 = \text{Krümmungshöhe}$$

$$L = 2 s = \text{Sehnenlänge}$$

$$D = \frac{2}{r} = \text{Dioptriewert (m)}$$

$$f = \frac{r}{2} = \text{Brennpunkt}$$

$$s = \sqrt{r^2 - r_1^2}$$

$$L = \frac{s}{2}$$

$$r_1 = \sqrt{r^2 - s^2}$$

$$h = r - \sqrt{r^2 - s^2}$$

$$s^2 = r^2 - (r - h)^2$$

$$s^2 = 2rh_1 - h_1^2$$

$$D = \frac{2}{r} = \frac{h_1 \cdot 4}{s^2 + h_1^2}$$

Tab. 3: Durchschnittswerte - Unteres Kopfgelenk
(n = 50, Einheit: mm, nähere Erl. im Text)

Merkmale	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	s_x
Atlas-Gelenkfläche unten-li	203.95	3.30	23.35
re	201.12	3.50	24.76
Atlas-Längsdurchmesser außen	44.15	0.37	2.66
Axis-Gelenkfläche oben-li	225.45	3.93	27.82
re	224.39	3.89	27.49
Länge, Axis-G.fläche oben re	17.85	0.17	1.21
Breite Axis-G.fläche oben re	15.26	0.18	1.27
Abstand Axis außen (lat.)	45.62	0.34	2.41
Abstand Axis innen (med.)	16.69	0.28	1.97
Dens-Höhe	19.77	0.26	1.84
Korpus-Dens-Höhe	37.65	0.42	2.98
Gelenkachsenwinkel Atlas-Axis	133.23	1.08	7.65
Axis-Gelenkfläche unten-li	92.56	2.95	20.92
re	88.93	2.38	16.83
Abstand Axis unten max.	47.00	0.45	3.22

Tab. 4: Durchschnittswerte der Längs- und Querdurchmesser in Dioptrie (d). Articulatio atlanto-axialis lateralis (nach PUTZ & POMAROLI, 1972)

		Mazerierte Präparate			Nicht mazerierte P.		
		Querdurchm.	Längs-		Querdurchm.	Längs-	
		med.	lat.	durchm.	med.	lat.	durchm.
Atlas	li	- 4.89	-3.51	-4.69	+ 3.22	+2.66	-2.11
	re	- 4.24	-3.44	-5.82	+ 4.77	+3.33	-2.30
Axis	li	+14.66	+2.75	-3.95	+12.64	+7.28	+2.70
	re	+14.45	+2.47	-3.80	+11.92	+6.85	+3.00

Tab. 5: Korrelation zur Höhe des Dens axis (n = 50)

M e r k m a l		Korrelations- koeffizient	
		r =	p ≤
Kondylen-	Gelenkfläche li/re	0.34 / 0.31	0.05 / 0.05
	Länge li/re	0.24 / 0.19	
	Breite li/re	0.21 / 0.26	
	Höhe li/re	0.25 / 0.26	
	Abstand vorne	0.03	
	Abstand hinten	0.17	
	Abstand maximal	0.37	0.01
Atlas -	Gelenkfl. o. li/re	0.18 / 0.20	
	Länge li/re	0.21 / 0.12	
	Breite li/re	0.12 / 0.14	
	Tiefe li/re	0.01 / 0.04	
	Abstand vorne	0.14	
	Abstand hinten	0.00	
	Abstand maximal	0.22	
	Gelenkfl. u. li/re	0.21 / 0.12	
Längsdurchmesser		0.50	0.001
Axis -	Gelenkfl. o. li/re		
	Länge re	0.23	
	Breite re	0.24	
	Abstand außen lat.	0.26	
	Abstand innen med.	0.00	
	Gelenkfl. u. li/re	0.36 / 0.32	0.01 / 0.05
	Abstand u. max.	0.39	0.01
Korpus-Dens-Höhe		0.75	0.001
Gelenkachsen- winkel (GAW)		0.13	

hieraus nach der Formel (s. Abb. 7) ein Krümmungsradius von 75 cm. Dies entspricht einer Höhe von 0.1 mm. Die Gelenkfläche ist nahezu plan. Der von KNESE (1948) angegebene Wert des Krümmungsradius (45 mm s. S. 76) bezieht sich auf beide Gelenke zusammen und ist somit eher mit dem Gelenkachsenwinkel zu vergleichen (GAW s. u.).

In der Tab. 3 sind auch die Gelenkflächengrößen der Unterseite des Axis aufgeführt. Sie liegen bei 92.56 mm^2 links und 88.93 mm^2 rechts, also deutlich unter denen der Oberseite. Dies ist aber nicht verwunderlich, da hier zum ersten Mal eine Zwischenwirbelscheibe auftritt. Würde ihre Flächenausdehnung hinzuaddiert, käme es zu einem umgekehrten Resultat.

Wie im oberen Kopfgelenk wurden auch hier die Abstände der Gelenkflächen gemessen. Der Abstand zwischen den am meisten lateral ausladenden Punkte der oberen Gelenkfläche des Axis beträgt 45.62 mm. Der innere Abstand zwischen den medial gelegenen Punkten liegt bei 16.69 mm. Dies ist der Raum, der dem Dens zur Verfügung steht. Er wird von ihm aber nicht ganz eingenommen, zumal er sich an dieser Stelle auch verjüngt. Die Breite der Denstaille schwankt zwischen 9 - 11 mm. Somit hat der Atlas, für den dieselben Abstandsmaße gelten, einen Bewegungsspielraum von jeweils ca. 3 mm auf beiden Seiten, bis er durch Knochenkontakt an den Dens stößt. LEWIT & KRAUSOVA (1964) kommen durch Auswertung von Röntgenbildern zu einem Wert von 2.4 mm für das laterale Offset. HOHL & BAKER (1964) geben Verschiebungen bis 4 mm an. MATZDORF (1956) nennt einen Wert von 1 - 3 mm. Das anatomisch Mögliche wird somit auch funktionell genutzt. Dies ist ein wichtiger Gesichtspunkt für die Theorie der asymmetrischen Atlasbewegung (vgl. hierzu JACOBSON & ADLER, 1953).

Der äußere Sagittaldurchmesser (Tub. ant. - Tub. post.)

des Atlas ist 44.14 mm lang. Bei BERGMANN (1967) liegen die Werte bei 46.5 mm und 47.9 mm, also im Vergleich etwas darüber. BERGMANN ging es in seiner Arbeit um eine phylogenetische Fragestellung. Hierfür wurden die Größen-dimensionen von 2 Gruppen von Atlanten verglichen. Die eine Gruppe zeigte Manifestationen eines Okzipitalwirbels (For. horizontale atlantis v. transverso-verticale und For. sagittale atlantis. Beide Foramina bilden den Canalis arteriae vertebralis) und die andere nicht. Diese letztgenannten, progressiveren Formen hatten im Durchschnitt größere Meßwerte, was als eine Kompensation für die Reduktion der anatomischen Details angesehen wurde. Nach CARELLA (1973) besteht eine signifikante Verminderung des inneren sagittalen Durchmessers des Atlas bei vielen Fällen mit leichten Atlasanomalien.

Der Maximalabstand der unteren Gelenkfläche des Axis wurde auch in die Tabelle aufgenommen. Bei der Arbeit von STOFFT (1972) stand nämlich das Problem des Voraussagens einer Gelenkflächengröße durch Bestimmen anderer Variablen im Vordergrund. Es wurden aber nur intraindividuelle Korrelationen gebildet, wobei die Gelenkfläche nicht immer mit dem queren Abstand (Maximalabstand) korrelierte. Mit dem vorhandenen Material konnte ein interindividueller Vergleich dieser beiden Maße an den ersten zwei Wirbeln vorgenommen werden. Tab. 6 zeigt das Ergebnis. Es wurden die Korrelationskoeffizienten und die dazugehörigen Regressionsparameter aufgeführt, aus denen sich jederzeit eine Regressionsgerade erstellen läßt (vgl. SACHS, 1969). Aus ihnen kann dann, anhand z. B. von Röntgenbildern gewonnenen Daten, auf die Gelenkflächengröße des entsprechenden Wirbels geschlossen werden. Auffallend ist die geringe Korrelation beim Condylus und Atlas. Dieses Resultat hat seine Ursache in der schon erwähnten variablen Gelenkflächengröße aufgrund der seitlichen Einschnürungen.

Der Winkel (GAW), den die beiden lateralen Atlantoaxialgelenke in der Frontalebene bilden, also die Neigung der Gelenkflächen nach lateral, beträgt 133.2° (s. Tab. 3). STOFFT (1978) ermittelte einen Wert von 116° an nicht mazerierten Gelenkflächen. Im Gegensatz zum Gelenkachsenwinkel der Kondylen (STOFFT, 1978: 129° ; BERNHARD, 1976: 121°) ist der Winkel hier nach kaudal offen. Die Spitzen der beiden analogen Winkel zeigen also aufeinander. Ebenso wie bei BERNHARD (1976) zeigt sich eine schwache negative, aber signifikante Korrelation ($r = -0.28$) zur Schädelhöhe (Basion - Bregma). Die Korrelation besagt, daß bei großer Schädelhöhe die Gelenkflächen lateralwärts stärker abfallen. Bei zunehmender Schädelhöhe wird auch der Schwerpunkt des Kopfes weiter über die Stützfläche erhoben und damit die Kippsicherheit vermindert. Dem wirkt die stärkere Keilverbindung sowohl zwischen Condylus und Atlas als auch zwischen Atlas und Axis entgegen. Diese Verbindung ist aber im Atlantoaxialgelenk nicht ausreichend, zumal die Gelenkflächen fast plan sind. Ein Dioptriewert von 3 d steht einem von 135 d gegenüber.

Ein zusätzlicher Stabilitätsfaktor für das untere Kopfgelenk ist durch den Dens gegeben. Er ragt wie ein Zapfen in den Atlas hinein und wird durch die Flügelbänder (Ligg. alaria) zusätzlich gehalten. Er trägt auch die Gelenkfläche des medialen Atlantoaxialgelenkes. Ventral artikuliert der Dens mit dem Atlas. Dorsal liegt das Kreuzband (Lig. cruciforme atlantis). Die Höhe des Dens von der Epiphysenlinie bis zum Apex ist 19.77 mm. Mit der Wirbelkörperhöhe zusammen sind es 37.65 mm. (vgl. STOFFT, 1978: Dens-Korpus-Höhe 43.2 mm). Daß der Dens ein wichtiger Stabilisierungsfaktor ist, zeigen die klinischen Bilder bei einem Funktionsausfall. Es kommt leicht zu Subluxationen oder Luxationen, falls er nicht fest am Sockel und in seinen Bändern fixiert ist. Beispiele hierfür sind die Densfraktur (s. TORKLUS & GENLE,

1970; vgl. STOFFT & FOHL, 1978), die Denshypo- oder aplasie, ein Os odontoideum und die Bandinsuffizienz (vgl. CARLIOZ & DUBOUSSET, 1973).

Wegen der obengenannten zentralen Bedeutung des Dens, war es mit ein Anliegen dieser Arbeit, die korrelativen Zusammenhänge aller bisher genannten Merkmale mit dem Axiszahn zu untersuchen. Das Ergebnis ist in der Tab. 5 dargestellt. Hier ragt vor allem die mäßige, aber hochsignifikante Korrelation ($r = 0.5$) zum sagittalen Durchmesser heraus. Alle Korrelationen sagen per se wenig über die Ursachen der Zusammenhänge aus. Sie müssen zuerst sorgfältig auf Covereffekte hin überprüft werden. Diese bedingen Schein- oder Trivialkorrelationen allein durch mathematische Zusammenhänge (z. B. Fläche/Durchmesser) oder anatomische Gemeinsamkeiten (z. B. Denshöhe/Korpus-Dens-Höhe) der beiden betrachteten Merkmale oder Merkmalskomplexe. Dies liegt bei der besagten Korrelation nicht vor. Der Zusammenhang zwischen dem Dens und dem Sagittaldurchmesser muß nun zwangsläufig auch kein direkter sein, sondern kann durch eine drittseitige Dependenz zustande kommen. Dies besagt, daß ein dritter Faktor beide untersuchten Größen gleichsinnig beeinflusst. Bei biologischen Objekten ist hier vor allem an einen die Größe bestimmenden Faktor zu denken. Er kann genetisch (endogen) bedingt sein oder durch die Funktion (exogen) determiniert werden (vgl. Muskelsätze). Daß Atlas und Dens durch den gleichen Faktor in ihrem Größenwachstum gesteuert werden, obwohl sie im Erwachsenenalter verschiedenen Wirbelsegmenten angehören, könnte als ein Indiz für die Entstehung des Dens aus Atlasmaterial angesehen werden (vgl. KLADETSKY, 1955). Desweiteren bestehen auch enge funktionelle Zusammenhänge. Wie unter Punkt 1.2. schon ausgeführt wurde, sind die Gelenkexkursionen in der Sagittalebene nicht mit Wackelbewegungen abzutun (Gegensatz zur Meinung von FERNKOFF, 1952).

Je kleiner die Denshöhe wird, um so leichter könnte er über den Zahn gehebelt werden (Ursprung von *M. rectus capitis posterior minor* am *Tuberculum posterius*).

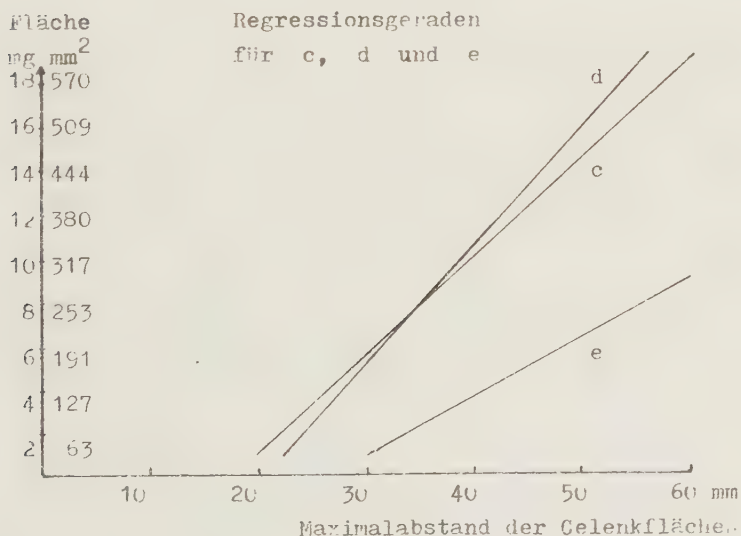
Überraschend niedrig ist der Korrelationskoeffizient zu den seitlichen Hebelarmen, wo u. a. die Kräfte angreifen, die den Atlas um den Dens rotieren (Ansatz des *M. obliquus capitis inf.*). Wegen der großen Variabilität der Muskelansätze wurde der Hebelarm nur indirekt über den Gelenkflächenabstand bestimmt. Schon unter Punkt 1.2. wurde die Ansicht von einigen Autoren wiedergegeben, die den Dens axis gar nicht als Mittelpunkt der Drehung ansehen.

Bei hypoplastischem Dens kommt es öfter zu einem ventralen als lateralen Offset (vgl. MARAR & BALACHANDRAN, 1973). Dies unterstreicht noch einmal die Bedeutung des Dens für die Führung und Begrenzung der sagittalen Bewegung. Der Zahn ist auch in dieser Richtung durch die paradoxen Kippbewegungen des Atlas größeren Belastungen ausgesetzt. Die Superior- und Inferiorstellung sind auch zu erwähnen. Sie führen bei irreversiblen Positionen sogar zu Denslordosen. Dies ist ein weiterer Beleg für die Abhängigkeit beider Größen.

Mäßige gleichsinnige Korrelationen bestehen zu den Maximalabständen der Kondylen und der unteren Gelenkfläche des Axis. Sie liegen am weitesten vom Dens entfernt. Die Verzahnung ist also um so stärker, je weiter diese Gelenkflächen auseinander liegen. Dies kann im Rahmen der allgemeinen Erhöhung der Stabilität gesehen werden. Die Gelenkflächengrößen in diesen Abständen zeigen ein ähnliches Bild. Alle übrigen Korrelationen sind nicht signifikant.

Tab. 6: Regressionsparameter der Gelenkflächen der beiden Kopfgelenke (abhängige Variable y) und ihren Maximalabständen (unabhängige Variable x). Der Umrechnungsfaktor für die Gelenkflächen in mm^2 beträgt 15.84×2 .

Merkmal		Korrelations- koeffizient r	Regressions- koeffizient b	Achsenab- schnitt a
Condylus	(a)	0.44	0.37	-3.49
Atlas oben	(b)	0.37	0.24	1.10
Atlas unten	(c)	0.76	0.45	-7.72
Axis oben	(d)	0.79	0.54	-10.40
Axis unten	(e)	0.64	0.27	-6.84



3.3. Morphognose und Morphometrie der Okzipitalkondylen

Zwischen der Morphognose und der Morphometrie besteht noch immer ein großer Gegensatz. Es ist das Dilemma, daß die Morphognose, also die Erfassung und Beschreibung von Formen, zwar interessante Daten liefert, aber stark subjektiv geprägt und somit schwerer nachprüfbar ist. Die Morphometrie ist dagegen objektiv und die gewonnenen Daten lassen sich auch statistisch bearbeiten, aber sie erleidet durch den Meßvorgang oft einen Informationsverlust. Kompliziertere Formen, wie sie in der Natur vorherrschen, lassen sich manchmal nicht durch wenige Parameter ausreichend beschreiben. Erst in neuerer Zeit werden mit Hilfe von Großrechnern Versuche unternommen, die aufgezeigte Diskrepanz zu überbrücken (JACOBESHAGEN, 1981). In der physikalischen Anthropologie werden Indices, also prozentuale Verhältnisse von Parametern, gebildet, um der Formbeschreibung metrisch näher zu kommen (vgl. Tab. 11 u. 12 Kondylenindices).

In der Tab. 9 sind die Durchschnittswerte der Größen- und Formangaben der Kondylen in der 'Großen Serie' aufgeführt. Sie differieren nicht wesentlich von denen der 'Kleinen Serie' (s. Punkt 3.1. Tab. 1) und werden deshalb hier nicht besprochen. Tab. 10 bringt eine getrennte Auflistung nach Geschlechtern und den jeweiligen Maximalwerten. Frauen haben bei keinen absoluten Daten größere Werte als Männer. Auf den 'Geschlechtsdimorphismus' machte schon MISCH (1905) und SCHULTZ (1918) aufmerksam. Lediglich beim Längen-Breiten-Index überwiegt der Mittelwert der Frauen. Dies bedeutet, daß bei Frauen die Kondylen im Durchschnitt etwas lang-schmalförmiger sind.

In der Tab. 11 u. 12 sind die Indices in Klassen eingeteilt und die jeweilige absolute und prozentuale Besetzungsstärke angegeben. Sie veranschaulicht die große

Variabilität, die die Kondylen auszeichnet. Der hohe Variationskoeffizient und die große Schwankungsbreite der Extremwerte (s. Tab. 10) ist ein weiterer Beleg. Die Variabilität erstreckt sich sowohl auf die Größe als auch auf die Form, soweit diese durch einen Index wiedergegeben werden kann. Hierauf wiesen bereits viele Autoren hin.

Schon 1975 versuchte BERNHARD an einer größeren Serie die Formenvielfalt der Kondylen morphometrisch zu beschreiben und einer Erklärung näher zu bringen. Der Autor kommt u. a. zu dem Schluß, daß keine Formtypen bestehen, da eine Mehrgipfligkeit in den Häufigkeitsverteilungen nicht festzustellen war. Wie oben schon ausgeführt, werden zum einen allein durch Meßvorgänge, die nur drei Dimensionen berücksichtigen, variable Formen nicht eindeutig erfaßt und zum anderen sind einige Typen prozentual so gering vertreten, daß sie in einer allgemeinen Häufigkeitsstatistik untergehen (s. Tab. 7 Gelenkfläche zweigeteilt).

Natürlich ist jede Typologie (vgl. KRETSCHMER, 1972) angreifbar, da sie subjektiv Grenzen setzen soll, wo objektiv keine bestehen. Zudem gibt es auch häufig Mischtypen. Es ist aber nicht gerechtfertigt, Formtypen deshalb überhaupt abzulehnen. Sie dienen einem Erkenntnisgewinn. (Determinatio est approximatio)

In der vorliegenden Arbeit wurde die Typologie von MISCHE (1905, s. Abb. 8 u. 9) auf ihre Brauchbarkeit hin überprüft und prägnante Formtypen photodokumentarisch festgehalten. Wie die Abbildungen 37 - 90 zeigen, konnten alle charakteristischen Formen gefunden (verifiziert) werden. Es ergeben sich nur geringfügige Abweichungen, die unten näher erläutert werden.

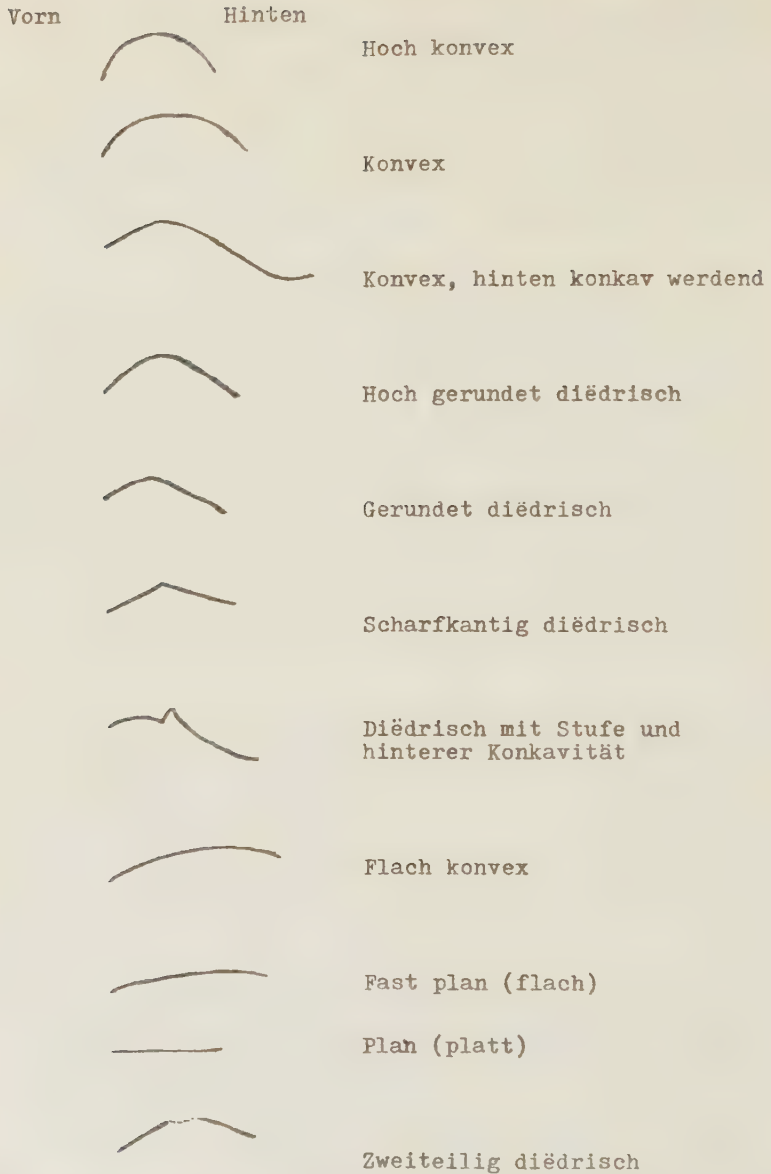


Abb. 8: Kondylenlängsschnitte (nach MÜSCH, 1905)

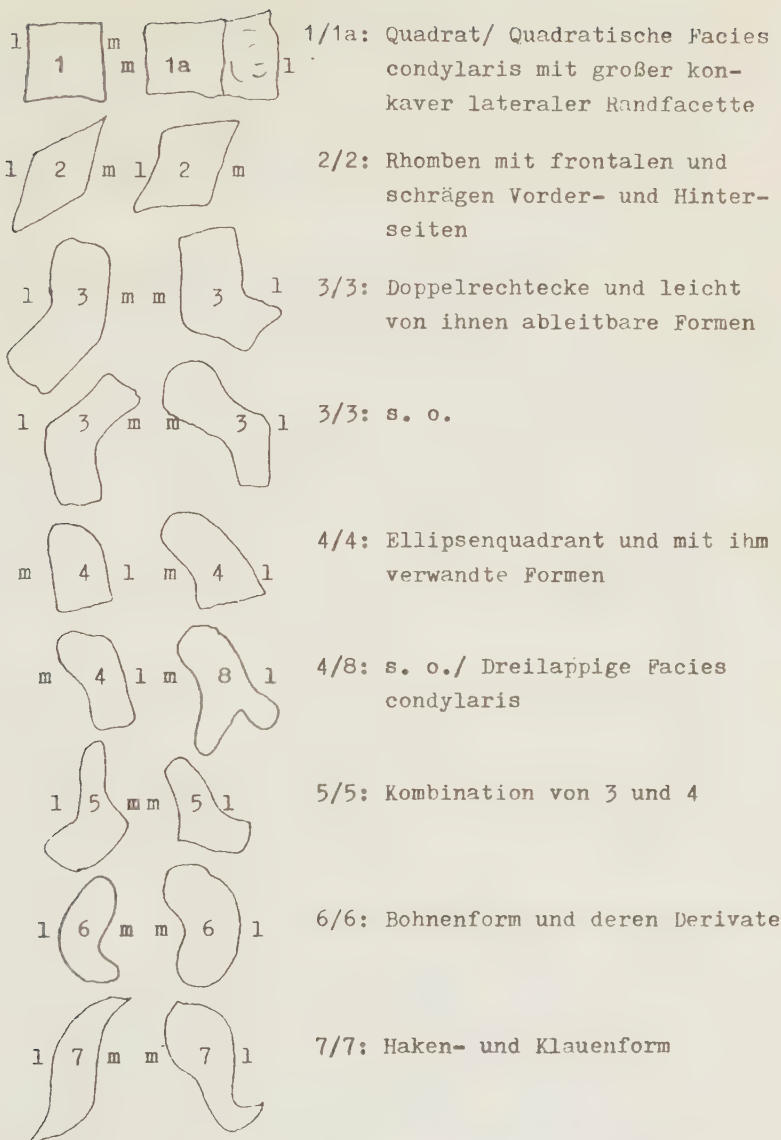


Abb. 9: Auffallende Formen der Facies condylaris (nach
MISCH, 1905). m = medial / l = lateral

Werden die Längsschnittformen zu vier Typen zusammengefaßt, so lassen sich hierfür reproduzierbare Prozentzahlen angeben (s. Tab. 7). Der Vergleich mit den Werten von MISCH zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Dies spricht für die Zuverlässigkeit (Reliabilität) der Typologie, zumindest was die Längsschnitte anbelangt.

Tab. 7: Prozentuale Häufigkeit von Kondylenlängsschnittformen (n = 200). Rechte zwei Spalten Vergleichswerte von MISCH, 1905 (n = 100 u. 124).

Gelenkfläche	mazert	nicht mazert.	mazert.
konvex	53 %	55 %	53 %
flach	7 %	8 %	6 %
diëdrisch/ prismatisch	39 %	36 %	38 %
zweigeteilt	1 %	1 %	1 %

Bei MISCH finden sich auch Daten über nicht mazertierte Gelenkflächen (s. mittlere Spalte der Tab. 7). Sie weichen auch nicht sehr von denen ab, die an mazertem Material gefunden wurden. MISCH schreibt (S. 9): „Generelle Unterschiede zwischen knorpeligen und knöchernen Gelenkflächen bestehen nicht. Und doch stimmen beide nicht ganz überein, wie mir so manche Maceration gezeigt hat. Insbesondere pflegen scharfe Transversalkanten, die der Knorpel aufweist, am Knochen abgestumpfter zu sein. ... Der Knorpelüberzug konvexer Eigg. Fl. (Gelenkflächen) ist an fast allen Stellen, auch am vorderen und hinteren Rande, meistens gleichmäßig dick, im Durchschnitt etwa 1.5 mm. Bei zweiteiligen Eigg. Fl. findet sich stets eine übermäßige Ausbildung der Synovialhaut, die an der medialen wie an der lateralen Seite ein mächtiges Polster bildet und von da aus in die Rinne hineinragt, welche die beiden Teile der Eig. Fl. trennt“.

Es ist generell richtig, von verschiedenen Typen der Kondylenform auszugehen. Die meisten Autoren weisen zumindest auf eine dichotome Systematik hin (konvex - diëdrisch). Dies trifft auch auf die Extremtypen der Oberflächenform (rund - eckig) zu. Es lassen sich hier aber noch andere Formen ableiten (vgl. Abb. 34 - 90):

Ausgehend von dem relativ seltenen Extremtyp mit doppelter (zweigeteilter) Kondylenfläche, die jede für sich meist ellipsenartige Umrisse hat (Abb. 37-42), kommt man zu einer Form, die diese Anlage noch deutlich zeigt. Sie hat auffällige beiderseitige Einkerbungen (Buchten). Eine vollständige Trennung ist nicht mehr gegeben (Abb. 43-50). Für beide Formen ist der diëdrische Längsschnitt typisch. Er kann zweiteilig, scharfkantig, an der Spitze gerundet oder mit einer Stufe ausgebildet sein. Eine hintere Konkavität, wie sie Abb. 8 (nach Misch) zeigt, konnte nicht festgestellt werden. Vereinzelt treten auch hier schon vollständig gerundete Formen auf. Sind die Einkerbungen nicht mehr ausgebildet, so gelangt man zur Hakenform, die aber nie diese scharfe Spitzen hat, wie Misch sie abbildet (vgl. Abb. 9 u. 55-56). Bei nur einseitig ausgebildeter Einkerbung bildet sich die Bohnenform. Die Einbuchtung muß nicht immer medial liegen, sie kommt auch lateral vor (Abb. 51-54).

Eine andere Formenreihe geht vom Rechteck/Rhombus oder dem Oval aus (Abb. 73-78/62). Am häufigsten kombinieren sich beide Formen, wobei der Rhombus vorne (ventral) und das Oval hinten (dorsal) die Regel bildet (Abb. 79-84). Die Größenverhältnisse können vorne und hinten auch verschieden sein (vgl. Abb. 9-5/5 u. Abb. 82,84). Vereinzelt besteht auch keine Formengleichheit zwischen dem linken und rechten Condylus. Eine weitere Formeinheit zeigt das Längsoval (Abb. 67-72). Die übrigen Formen sind sehr gering vertreten. In dieser Formenreihe überwiegen konvexe

Längsschnitte, wobei die plane Gelenkfläche ein Extrem der konvexen darstellt (Abb. 61-66). Kondylen ohne Krümmung sind meist quadratisch (- rechteckig) und kreisförmig (- oval).

MISCH beschreibt noch zwei Formen, die außer der üblichen Gelenkfacies zusätzlich eine kleine Auslappung zeigen. Er nennt sie Randfacetten (Einstellungsfurche nach STRECKER, 1887; vgl. Abb. 23-24 u. 85-90). Meist findet sich der Fortsatz am dorsalen Ende, so daß eine dreilappige Facies sehr selten ist (Abb. 89-90). MISCH betont, daß sie durch einen Canalis condylaris posterior hervorgerufen wird, wenn er die Facies durchbohrt. Als Asymmetrieursache wird er unter Punkt 3.5. nochmals erwähnt. Nach den Beobachtungen an der 'Großen Serie' fällt auch die Klauenform in die Kategorie der Randfacetten (Abb. 57-60). In der spitzen Form, wie sie von MISCH abgebildet wird (vgl. Abb. 9-7/7), wurde sie nie vorgefunden. Die Mehrzahl der Längsschnitte ist hier konvex und dorsal, im Bereich der Randfacette manchmal sogar konkav.

Die Schwierigkeiten, die sich durch die Einkerbungen und doppelt ausgebildeten Gelenkflächen für die Breitenmessung ergeben, wurden schon erwähnt. Viel weitreichender sind aber die Konsequenzen, die sich aus den unterschiedlichen Längsschnittformen für die Gelenkmechanik ergeben. Ähnliche und vergleichbare Verhältnisse finden sich am menschlichen Körper nur noch an den kleinen Gelenkflächen der Lendenwirbelsäule. PUTZ (1976) stellt hier auch drei Gelenkflächentypen für die inferiore Fläche heraus. Die Häufigkeiten sind der Tab. 8 zu entnehmen (vgl. Tab. 7). Die abgewinkelten Formen sind hier am meisten vertreten. Die Darstellung von nur planen Gelenkflächen stellt also eine unzulässige Vereinfachung dar. Durch die abgewinkelte Form können die Gelenkflächen, entgegen den Angaben in

der Literatur, auch sehr selten streng in der Sagittalebene ausgerichtet sein..

Tab. 8: Prozentuale Verteilung der Gelenkflächentypen in der Lendenwirbelsäule (nach PUTZ, 1976)

gekrümmte Gelenkfläche	26.2 %
abgewinkelte Gelenkfläche	42.1 %
plane Gelenkfläche	21.4 %
nicht meßbar	20.5 %

Im Gegensatz zu den Kondylen ist im Lendenbereich die Krümmungsachse vertikal und nicht horizontal ausgerichtet. Eine Rotation im Lendenbereich entspricht einer Sagittalbewegung der Kondylen. Bei der Rotation kommt es zu einem Klaffen des Gelenkspaltes, das um so deutlicher wird, je mehr der Körper dabei in Ventralflexion geht. Nach PUTZ begrenzen die nach dorsal ausgerichteten Teile der Gelenkfläche die Rotationsbewegung, wohingegen die nach vorne abgewinkelten Anteile die Rolle eines Widerlagers spielen. Auf die Kondylen übertragen ergeben sich für die diëdrischen oder prismatischen Formen analoge Verhältnisse. Hier muß es bei der Sagittalflexion auch zu Gleit- und Kippbewegungen kommen. Diese führen je nach Bewegungsrichtung auch zu einem Klaffen der Ventral- oder Dorsalseite. Exemplar Nr. VI von KNESE (1948, S. 70) veranschaulicht dies sehr deutlich. Es sei hier noch einmal die Tatsache erwähnt, daß im überknorpelten Zustand schärfere Transversalkanten vorherrschen, obwohl eine durch den Gleitvorgang hervorgerufene Abrundung vermutet werden könnte. Bei prismatischen Gelenkflächen kann der Gleitvorgang also nicht hauptsächlich über die Kanten ablaufen. Hier findet womöglich nur der Kippvorgang statt. Die große Störanfälligkeit dieses Gelenkes ist vermutlich in dieser Bewegungsart zu suchen. Zum einen ist eine Verkantung leichter möglich und zum anderen

besteht bei der Rückführung des Klaffens immer die Gefahr der Einklemmung des Synovialpolsters, welches die Einkerbungen ausfüllt. Inwieweit die Atlasstellungen mit diesem Gelenktyp verbunden sind, ist nicht weiter untersucht. GUTMANN (1981) gibt für ein größeres Patientenkollektiv (476 P.) eine Häufigkeit der Atlas—Superiorstellung von 45 % an.

Leider untersuchte KNESE (1948) nur bei sechs Exemplaren (s. o.) mit Bleibandabgüssen die Krümmungsverhältnisse im oberen Kopfgelenk. Er führt die unterschiedlichen Bewegungsgrößen auf die verschiedenen Gestalten zurück, wobei er den fast gleichmäßig gekrümmten Kondylen eine ausgiebigere Bewegung zuschreibt als den diëdrischen und prismatischen. Bei unterschiedlichen Krümmungsradien läßt er die Bewegungen um wandernde Achsen ausführen. Auf die unterschiedlichen Bewegungsqualitäten wird nicht eingegangen.

Abb. 21-22 zeigt die seltene Form von fast planen, konkaven Kondylenformen. Dieser Extremtyp war in der 'Großen Serie' nur einmal vertreten. Es handelt sich hier nicht um eine kondyläre Hypoplasie bei basilarer Impression. OLLIVIER (1824) beschreibt einen ähnlichen Fall bei einem 24-jährigen Soldaten. Die zugehörigen Atlasgelenkflächen waren konvex. Der Autor führt auch weiter aus, daß der gesunde und sehr robuste Soldat in seinem Leben keinerlei Anzeichen einer solchen 'Anomalität' bot.

Die unterschiedlichen Bewegungsmöglichkeiten sind im folgenden noch einmal zusammengefaßt:

- Plane Gelenkfläche : Gleiten und Kippen (Eine Art Wackelbewegung; s. FICK, 1910) .
- Konvexe Fläche : Drehgleiten bei großer Kongruenz (s. Punkt 3.1.) und starker Haftung
- Prismatische Fläche: Kombinationsbewegung aus den Vorgenannten (s. Punkt 3.3.)

Tab. 9: Kondylendurchschnittswerte (mm)

M e r k m a l		n	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	s_x	v(%)
Kondylenlänge	(li)	405	22.37	0.15	2.95	13.19
Kondylenlänge	(re)	402	22.56	0.14	2.83	12.54
Kondylenbreite	(li)	402	10.57	0.07	1.31	12.40
Kondylenbreite	(re)	398	10.21	0.06	1.16	11.36
Kondylenhöhe	(li)	404	5.34	0.07	1.46	27.34
Kondylenhöhe	(re)	401	5.42	0.07	1.48	27.31
Kondylenlänge	(re+li)	346	22.51	0.15	2.75	12.22
Kondylenbreite	(re+li)	342	10.41	0.06	1.15	11.05
Kondylenhöhe	(re+li)	345	5.40	0.07	1.39	25.85
L H Index	(li)	404	23.79	0.29	5.79	24.33
L H Index	(re)	401	23.90	0.28	5.51	23.05
L B Index	(li)	401	48.33	0.51	10.21	21.13
L B Index	(re)	397	46.22	0.46	9.07	19.62
B H Index	(li)	401	51.61	0.82	16.35	31.68
B H Index	(re)	397	53.76	0.83	16.53	30.84

Tab. 10: Kondylendurchschnittswerte und Extremwerte nach Männern (m) und Frauen (w) getrennt. (mm).

M e r k m a l			n	$\bar{x}$	s_x	v(%)	min. max.
Kondylenlänge (li)	m	252	22.74	2.95	12.97	13 - 32	
	w	153	21.76	2.86	13.14	13 - 28	
Kondylenlänge (re)	m	249	22.95	2.85	12.41	15 - 32	
	w	153	21.93	2.69	12.27	15 - 29	
Kondylenlänge (li+re)	m	216	22.88	2.80	12.24	145- 320	
	w	130	21.90	2.58	11.78	150- 285	
Kondylenbreite (li)	m	251	10.58	1.27	12.00	7 - 14	
	w	151	10.57	1.38	13.06	7 - 14	
Kondylenbreite (re)	m	248	10.31	1.14	11.06	8 - 13	
	w	150	10.06	1.18	11.73	8 - 13	
Kondylenbreite (li+re)	m	214	10.46	1.12	10.70	75- 135	
	w	128	10.32	1.20	11.63	80- 130	
Kondylenhöhe (li)	m	251	5.43	1.49	27.44	10- 095	
	w	153	5.18	1.41	27.22	00- 090	
Kondylenhöhe (re)	m	249	5.53	1.50	27.12	10- 095	
	w	152	5.24	1.45	27.67	10- 100	
Kondylenhöhe (li+re)	m	215	5.51	1.43	25.95	10- 090	
	w	130	5.23	1.33	25.43	20- 095	
L H Index (li)	m	251	23.83	5.88	24.67	63- 400	
	w	153	23.74	5.69	23.97	8300- 348	
L H Index (re)	m	249	23.92	5.33	22.28	53- 365	
	w	152	23.87	5.83	24.42	53- 471	
L B Index (li)	m	250	47.50	9.65	20.32	250- 923	
	w	151	49.71	10.99	22.11	286- 929	
L B Index (re)	m	247	45.83	8.80	19.20	281- 813	
	w	150	46.86	9.53	20.34	296- 765	
B H Index (li)	m	250	52.49	16.84	32.08	83-1143	
	w	151	50.15	15.52	30.52	2600- 938	
B H Index (re)	m	247	54.60	16.60	30.40	91-1000	
	w	150	52.92	16.15	30.52	91-1063	

Tab. 11: Häufigkeitsverteilung der Kondylenindices in den einzelnen Klassen nach den Seiten getrennt (li).

Längen-Höhen-Index der Kondylen (links)

	m + w	n	m %	n	w %
	-14.9	20	8.0	9	5.9
nieder-langförmig	15.0-19.9	30	11.9	27	17.6
	20.0-24.9	82	32.7	39	25.5
hoch-kurzförmig	25.0-29.9	81	32.3	57	37.2
	30.0-	38	15.1	21	12.7
		251	100 %	153	100 %

Längen-Breiten-Index der Kondylen (links)

	m + w	n	m %	n	w %
	-34.9	13	5.2	10	6.6
	35.0-39.9	31	12.4	11	7.3
lang-schmalförmig	40.0-44.9	61	24.4	31	20.5
	45.0-49.9	52	20.8	32	21.2
	50.0-54.9	49	19.5	28	18.5
	55.0-59.9	18	7.2	13	8.6
kurz-breitförmig	60.0-64.9	14	5.6	11	7.3
	65.0-69.9	4	1.6	9	6.0
	70.0-	8	3.2	6	4.0
		250	100 %	151	100 %

Breiten-Höhen-Index der Kondylen (links)

	m + w	n	m %	n	w %
	- 9.9	2	0.8	1	0.7
	10.0-19.9	7	2.8	3	2.0
nieder-breitförmig	20.0-29.9	10	4.0	10	6.6
	30.0-39.9	29	11.6	23	15.2
	40.0-49.9	42	16.8	26	17.2
	50.0-59.9	75	30.0	40	26.5
	60.0-69.9	52	20.8	36	23.8
hoch-schmalförmig	70.0-79.9	15	6.0	8	5.3
	80.0-89.9	15	6.0	3	2.0
	90.0-	3	1.2	1	0.7
		250	100 %	151	100 %

Tab. 12: Häufigkeitsverteilung der Kondylenindices in den einzelnen Klassen nach den Seiten getrennt (re).

Längen-Höhen-Index der Kondylen (rechts)

	m + w	n	m	%	n	w	%
	-14.9	15		6.0	10		6.6
nieder-langförmig	15.0-19.9	28		11.2	18		11.8
	20.0-24.9	86		34.5	55		36.2
hoch-kurzförmig	25.0-29.9	95		38.2	52		34.2
	30.0-	25		10.0	17		11.2
		249		100 %	152		100 %

Längen-Breiten-Index der Kondylen (rechts)

	m + w	n	m	%	n	w	%
	-34.9	16		6.5	14		9.3
	35.0-39.9	40		16.2	18		12.0
lang-schmalförmig	40.0-44.9	67		27.1	35		23.3
	45.0-49.9	52		21.0	35		23.3
	50.0-54.9	38		15.4	19		12.7
	55.0-59.9	14		5.7	10		6.7
kurz-breitförmig	60.0-64.9	9		3.6	12		8.0
	65.0-69.9	7		2.8	2		1.3
	70.0-	4		1.6	5		3.3
		247		100 %	150		100 %

Breiten-Höhen-Index der Kondylen (rechts)

	m + w	n	m	%	n	w	%
	- 9.9	2		0.8	1		0.7
	10.0-19.9	4		1.6	0		0.0
nieder-breitförmig	20.0-29.9	12		4.9	10		6.7
	30.0-39.9	12		4.9	19		12.7
	40.0-49.9	36		14.6	23		15.3
	50.0-59.9	68		27.5	41		27.3
	60.0-69.9	60		24.5	37		24.7
hoch-schmalförmig	70.0-79.9	27		10.9	14		9.3
	80.0-89.9	13		5.3	3		2.0
	90.0-	3		1.2	2		1.3
		247		100 %	150		100 %

3.4. Beziehungen der Kondylen zum Schädel

BERNHARD (1975) untersuchte mittels einer Korrelationsanalyse den Zusammenhang zwischen den Kondylen- und Schädelparametern. Die stärkste Beziehung war zwischen der Kondylenlänge/Gelenkflächengröße und der Schädelhöhe (Basion-Bregma) festzustellen ($r = 0.56/0.52$). Diese Abhängigkeit wurde als ein Kompensationsmechanismus gedeutet. Eine größere Schädelhöhe bedingt eine vermehrte Instabilität, die durch größere Gelenkflächen/-längen ausgeglichen wird.

Schon 1910 stellte WELKER fest, daß die menschlichen Langschädel einen verhältnismäßig kürzeren Condylus haben als Kurzschädel. Unter der Annahme, daß Langschädel auch etwas niedriger sind, deutet dieses Ergebnis in dieselbe Richtung, wie sie oben erwähnt wurde.

Eine Korrelation, die an Männern und Frauen zusammen festgestellt wurde, kann allerdings auch rein zufällig zustande kommen (Pseudokorrelation). Dieses Verhalten ist so zu verstehen: Für jede Gruppe sammeln sich die Merkmalspaare (Punktwolken) um einen Anhäufungsschwerpunkt. Jede Gruppe für sich betrachtet hat also eine geringe oder keine Korrelation. Dies ändert sich nahezu sprunghaft, wenn die Punktwolken beider Kollektive zusammengelegt werden.

Aufgrund der vorhandenen Unterschiede in den Größenparametern zwischen Männern und Frauen (s. Tab. 10), ist der im vorigen Absatz näher erläuterte Einwand nicht ganz unbegründet. Der oben genannte Zusammenhang wurde deshalb nochmals an der 'Großen Serie' überprüft. Das Ergebnis änderte sich durch die getrennte Bearbeitung von Männern und Frauen nicht, so daß in Abb. 10 wiederum eine gemeinsame graphische Darstellung vorgenommen wurde.

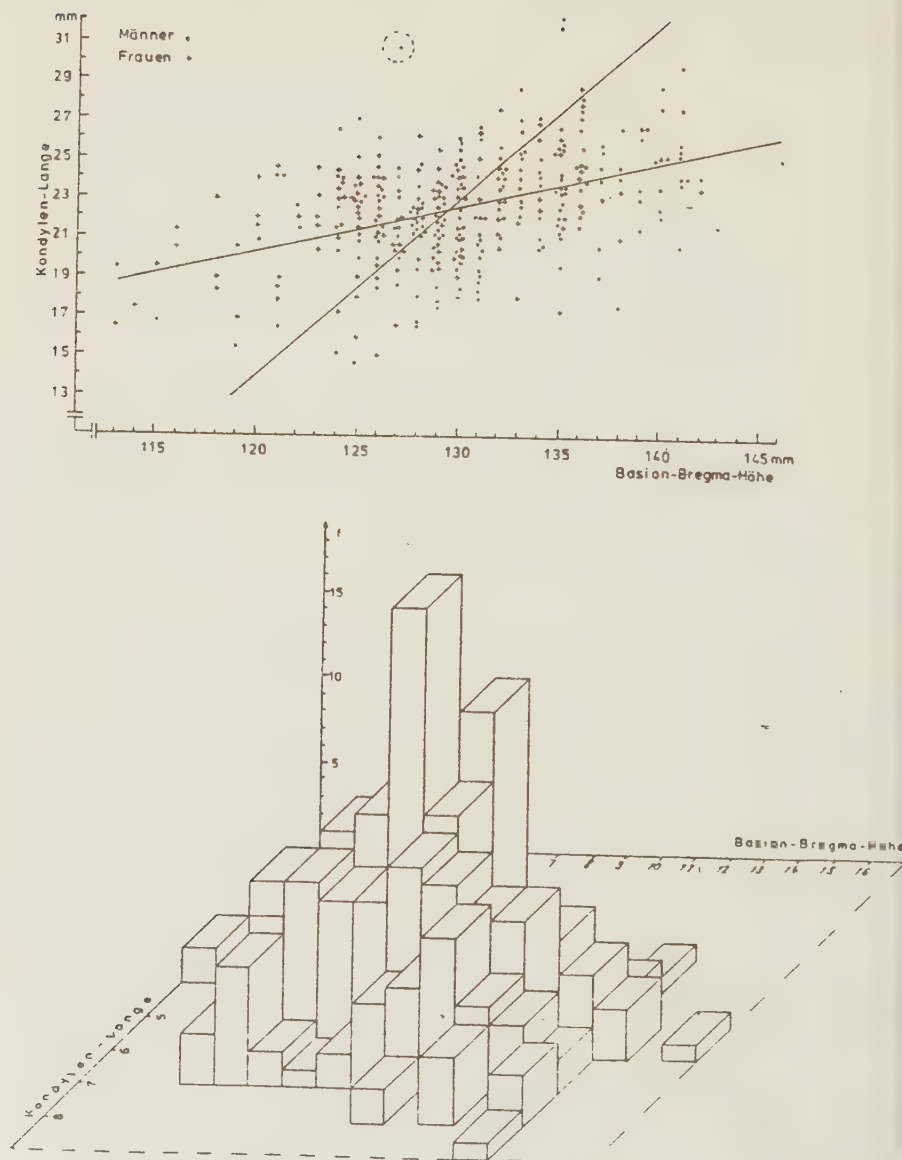


Abb. 10: o.- Punktwolke und Regressionsgeraden der KL zur BBH
 u.- Darstellung im Säulendiagramm - 'Gebirgszug'
 ○ Ausreißer: Condylus mit doppelter Gelenkfläche

Die zur Punktwolke gehörenden Regressionsgeraden wurden mit in die Abbildung aufgenommen. Der Korrelationskoeffizient liegt bei $r = 0.42$, also etwas unter dem von BERNHARD gefundenen. Aufgrund der größeren Stichprobe ist er aber signifikanter. Der Ausreißer (mit ○ markiert) erwies sich als ein Condylus mit geteilten (doppelten) Gelenkflächen.

Um die erwähnte Beziehung weiter zu stützen wurde dieselbe Untersuchung an einer anderen Stichprobe ('Kleine Serie') wiederholt. Das Ergebnis ist hier noch eindeutiger als zuvor. Der Korrelationskoeffizient liegt jetzt für den Längenparameter bei $r = 0.61$ (Fläche: $r = 0.51$). Als Grund ist die größere Homogenität dieser Gruppe zu nennen. Eine Dependenz zwischen der Kondylenlänge resp. -fläche muß somit als gesichert angesehen werden.

Eine vermutete Beziehung zwischen der Schädelgröße (Kapazität) und der Kondylenfläche konnte von BERNHARD nicht bestätigt werden ($r = 0.103$). Dieser Zusammenhang wurde deshalb an 80 Schädeln der 'Großen Serie' nochmals untersucht und durch andere Parameter, wie die Größe (Inhalt) der Orbitalhöhlen und des Foramen magnum, erweitert. Die Tab. 13 zeigt die Durchschnittswerte dieser Größen und die Korrelationskoeffizienten zur Kondylenlänge und -fläche. Die errechneten Mittelwerte sind alle kleiner als die tatsächlich gemessenen. Dies hat z. B. bei der Orbitalgröße seine Ursache in der Annahme einer Pyramidenform für die Orbitalhöhle, denn schon die Tränendrüse führt zu einer Ausbuchtung der Knochenflächen, die die Orbitae begrenzen. Diese 'Verrundung' führt zu einem größeren Rauminhalt.

Die Orbitalhöhle ist rechts 24.7 cm^3 groß. Beide Orbitalhöhlen zusammen (49.4 cm^3) machen 3.5 % des Volumens der Schädelhöhle aus. MARTIN (1928) gibt für Europäer 4 % an.

Der Index cephalorbitalis, der das Verhältnis der Schädelkapazität zur Summe der beiden Orbitalkapazitäten ausdrückt, beträgt 28.3. Für die Japaner gibt ADACHI (1904) den Wert 28.9 bei Männern und 28.3 bei Frauen an. Die Orbitalkapazität ist bei der Frau nur absolut kleiner, aber relativ zur Schädelkapazität größer als beim Mann. Der Korrelationskoeffizient zwischen beiden Volumina beträgt 0.38.

Tab. 13: Mittelwerte ($\bar{x}$), Standardabweichungen (s_x) und Korrelationskoeffizienten (r) von Schädelparametern (Männer: $n = 80$, $r \geq 0.28$, $p \leq 0.01$)

Merkmal	$\bar{x}$	s_x	Kondylenlänge/-fläche	
			r	r
Schädelkapazität				
errechnet (cm^3)	1186.59	39.43	0.31	0.25
gemessen (cm^3)	1398.20	130.30	0.27	0.20
Orbitalkapazität re				
errechnet (cm^3)	22.24	2.35	0.23	0.29
gemessen (cm^3)	24.72	2.99	0.33	0.57
Foramen magnum Fläche				
errechnet (cm^2)	8.60	1.13	0.14	0.28
gemessen (cm^2)	-	-	-	-

Die Literaturangaben zu den Seitendifferenzen der Kapazität der linken und rechten Orbita sind nicht einheitlich. ADACHI (1904) stellt keine Seitenunterschiede fest. Bei PEXIEDEROVA (1931) ist die linke Augenhöhle im Durchschnitt etwas größer. In der vorliegenden Arbeit betrug die Differenz bei den errechneten Werten nur

0.2 cm² zugunsten der linken Seite. KANSU & TUNAKAN (1953) konstatieren dahingegen eine Tendenz zu größeren rechten Orbitalhöhlen. Sie stellen zugleich die Frage, ob diese Asymmetrie den Durchmesser des Augapfels beeinflusst. Die experimentelle Arbeit von WESSELY (1921) belegt, daß es mechanische Wachstumsbeziehungen zwischen der Orbitalhöhle und der Größe des Augapfels gibt.

Die Größe des Foramen magnum liegt bei 8.6 cm². Die Fläche wurde aus der Länge und Breite unter der Annahme einer Ellipse errechnet. Die Literaturwerte liegen ca. 2 cm² darüber. BARTELS (1897) faßt zwar die Form des Foramen magnum auch als Ellipse auf, berechnet aber nur das Produkt der Länge zur Breite und kommt somit zwangsläufig zu größeren Werten (vgl. MARTIN, 1928). Die exakte Form läßt sich oft nicht angeben, da das Hinterhauptsloch durch die Prominenz der Kondylen mehr oder weniger eingeengt wird (s. Abb. 17; vgl. LANG, 1981). Der Korrelationskoeffizient zwischen For. magnum und Schädelkapazität beträgt 0.37.

Was nun die Beziehungen der zuvor besprochenen Parameter zur Kondylenfläche / -länge anbelangt, so konnte das Ergebnis von BERNHARD (1975) bestätigt werden. Es besteht allerdings ein etwas größerer Zusammenhang der Kondylenlänge mit der Schädelgröße, aber er ist auch hier immer noch gering ($r = 0.31 / 0.27$). Der vermutete dominierende Einfluß des Schädelvolumens (-gewichtes) auf die Kondylenfläche ist somit nicht gegeben. Auffallend dahingegen ist die relativ hohe Korrelation zwischen der Orbitalkapazität und der Kondylenfläche (0.57). Auch eine Partialkorrelation, die die gemeinsamen Beziehungen zur Schädelkapazität eliminiert, ändert nichts an dem Ergebnis.

3.5. Asymmetrieverhältnisse und ihren gegenseitigen Beziehungen

Im folgenden werden zuerst die Asymmetrien an den einzelnen Strukturen des Schädels besprochen. Anschließend werden ihre intrakraniellen Zusammenhänge, d. h. ihre gegenseitigen Beziehungen, untersucht.

In der Tab. 14 sind die Asymmetrieverhältnisse der Kondylen aufgeführt. Sie sind in der Länge und der Höhe bei Männern und Frauen rechts größer. Die Breite prävaliert links bei Frauen deutlicher als bei Männern. Die Unterschiede sind für die Breite statistisch signifikant ($p \leq 0,05$). Für die Länge und Höhe liegt das Signifikanzniveau etwas über 10 %. Bezüglich der Breite und Höhe zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den von SERGI und BERNHARD angegebenen Werten (s. Tab. 16). Lediglich bei der Länge der Kondylen ergeben sich Differenzen. Sie können zum Teil auch durch eine unterschiedliche Meßdefinition erklärt werden. Aufgrund der Aluminiumabdrücke war es möglich, an 100 Schädeln die absolute Länge festzustellen. Bei dem Vergleich der projektivischen zur tatsächlichen Länge, wo die Krümmung mitberücksichtigt wird, stellt sich heraus, daß in 7 % die Asymmetrieverhältnisse genau umgekehrt liegen und in 31 % der Fälle wird sogar Symmetrie erreicht, die zuvor nicht bestand. Dieses Ergebnis besagt aber auch, daß 62 % der Differenzen unabhängig von den Messungen zustande kommen, also wirklich vorhanden sind. Addiert man zur projektivischen Länge die Höhe hinzu, so differiert dieses Ergebnis im Durchschnitt nur um einen halben Millimeter zur tatsächlichen Länge. Auch die Meßgenauigkeit übt einen Einfluß auf die Zahl der Asymmetriefälle aus. So werden bei Millimeterangaben alle Unterschiede, die unterhalb dieses Bereiches liegen nicht erfaßt.

Tab. 14: Symmetrie bzw. Asymmetrie der Kondylen bezüglich Länge, Breite und Höhe.

DIMENSION						
	Männer			Frauen		
		N	n	%	N	n %
LÄNGE	gleich		53	24.5		26 20.0
	re größer	216	87	40.3	130	63 48.5
	li größer		76	35.2		41 31.5
BREITE	gleich		100	46.7		53 41.4
	re größer	214	43	20.1	128	10 7.8
	li größer		71	33.2		65 50.8
HÖHE	gleich		57	26.5		33 25.4
	re größer	215	86	40.0	130	53 40.8
	li größer		72	33.5		44 33.8

Tab. 15: Symmetrie bzw. Asymmetrie der Orbitalhöhlen bezügl. Höhe, Breite und Tiefe.

DIMENSION						
	Männer			Frauen		
		N	n	%	N	n %
HÖHE	gleich		136	43.7		70 43.7
	re größer	311	62	19.9	160	30 18.7
	li größer		113	36.3		60 37.5
BREITE	gleich		151	48.6		76 46.6
	re größer	311	124	39.9	163	70 42.9
	li größer		36	11.6		17 10.4
TIEFE	gleich		151	56.1		72 48.3
	re größer	269	90	33.5	149	52 34.9
	li größer		28	9.5		25 16.8

Tab. 16: Symmetrie bzw. Asymmetrie der Kondylen bezüglich Länge, Höhe und Breite nach Sergi (1909/10) und Bernhard (unveröff.)

DIMENSION		Römer (n = 100)		Melanesier (n = 61)		Peruaner (n = 54)		Feuerländer (n = 14)		Deutsche (n = 100)	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
L Ä N G E	gleich	17	17.0	13	21.3	16	29.6	3	21.4	1	1.0
	re größer	30	30.0	25	41.0	16	29.6	5	35.7	48	48.0
	li größer	53	53.0	23	37.7	22	40.8	6	42.9	51	51.0
H Ö H E	gleich	29	29.0	29	47.6	13	24.1	8	57.2	8	8.0
	re größer	48	48.0	16	26.2	25	46.3	3	21.4	55	55.0
	li größer	23	23.0	16	26.2	16	29.6	3	21.4	37	37.0
B R E I T E	gleich	41	41.0	22	36.1	31	57.4	11	78.7	4	4.0
	re größer	19	19.0	7	11.5	7	13.0	1	7.1	36	36.0
	li größer	40	40.0	32	52.4	16	29.6	2	14.2	60	60.0

SERGI (1909/10) konnte durch seine Untersuchungen an den Kondylen von außereuropäischen Populationen zeigen (s. Tab. 16), daß kulturelle Einflüsse, wie Lesen und Schreiben, keinen wesentlichen Einfluß auf die Asymmetrien haben können, da sich dieselben Seitendifferenzen ergaben wie bei europäischen. Es ist lediglich eine Verstärkung schon vorhandener Ungleichheiten möglich.

Neben den absoluten Größenunterschieden ist die Stellung der Kondylen im Raum von großem Interesse. Sie können in allen drei Dimensionen gegeneinander verschoben sein. Für INGELMARK (1943) steht der rechte Condylus beim Erwachsenen mehr ventral (82 %!) und mehr medial als der linke. Dieser große Unterschied konnte in unserem Bezugssystem nicht festgestellt werden (vgl. Punkt 2.2.). Es ergab sich eine Gleichverteilung. Die Ursachen sieht INGELMARK in den asymmetrischen Belastungsverhältnissen. Als indirekten Beweis sieht er die Verteilung u. a. der Ankylose im oberen Kopfgelenk und die Okzipitalmanifestationen an, da sie in ihren prozentualen Häufigkeiten eine gute Übereinstimmung zeigen. Die Teilung des Canalis hypoglossus wird auch als eine Manifestation eines Okzipitalwirbels angesehen. Dieses Merkmal ist relativ einfach und sicher zu bestimmen. An der 'Großen Serie' konnte keine Bevorzugung irgend einer Seite festgestellt werden. Bei 529 untersuchten Schädeln war das Merkmal sowohl rechts wie links in 9 % der Fälle vorhanden. Aufgrund der von INGELMARK festgestellten Dominanz der rechten Seite, wird von ihm auch an eine Beziehung zur Händigkeit gedacht. Aber er bemerkt hierzu, daß der sichere Beweis erst erbracht ist, wenn die Untersuchung vor und nach dem Tod vorgenommen wird, d. h. an ein und derselben Person. In der Einleitung wurde schon ausgeführt, daß durch Röntgenuntersuchungen (s. RICHTER, 1926; LeMAY, 1977, GUTMANN, 1981) diese Frage leichter zu beantworten ist. Hierbei wurde als Fazit herausgestellt, daß die

Beziehungen zur Händigkeit, vor allem zur links-Händigkeit, nicht so eindeutig sind, wie es die Prozentzahlen vermuten lassen.

JIROUT (1978) sieht seine Ergebnisse als eine Bestätigung der Beobachtung von INGELMARK an. Er fand nur in 30 % eine symmetrische Beziehung zwischen Atlas und Okziput, in 57 % eine Verschiebung des Okziput nach rechts und in 13 % nach links. Auf eine Beziehung zur Medial- und Ventralverschiebung (s. INGELMARK) und zur Händigkeit wird wiederum nur indirekt geschlossen. Der ursächliche Zusammenhang bleibt somit streng genommen unbeantwortet.

Außer an unterschiedliche Druckverteilungen, die durch die Rückgratkrümmung (resp. Händigkeit) auf den Kondylen lastet, ist auch an lokale Einflußfaktoren zu denken. Die Fossa jugularis und die Fossa condylaris liegen in unmittelbarer Nachbarschaft der Kondylen. Ihre Öffnungen werden von Venen ausgefüllt, deren Kaliberschwankungen oft beträchtlich sind (vgl. Abb. 25 u. 26). Das For. jugulare überwiegt nach OLIVIER & DEMOULIN (1975) in 52 % auf der rechten Seite, bei 20 % symmetrischen Fällen. Diese Ungleichheiten konnten an einer kleinen Stichprobe bestätigt werden. Eine Kasuistik auffallender Formen der Venenkanäle der Pars occipitalis laterales bringt MISCH (1905, S. 75), weil die Variationen der Kondylen gerade mit ihnen in engem Zusammenhang stehen. Nach HANSEMAN (1908) ruft die Größe des Emissarium (Canalis condylaris post.) zum Teil Ungleichmäßigkeiten an den Gelenkflächen hervor (vgl. Abb. 26), zum Teil soll sie auch unabhängig variieren. Die Fossa condylaris ist schon bei Neugeborenen asymmetrisch. .

Am Schädel sind neben den Foramina noch die Orbitalmaße direkt vergleichbar, da hier keine Bezugsebene nötig ist. In allen drei Dimensionen konnten signifikante

Unterschiede ($p \approx 0.05$) festgestellt werden (s. Tab. 15). KARVÉ (1931) und KADANOFF & JORDANOV (1977) kommen in der Tendenz zu ähnlichen Ergebnissen (s. Tab. 17). Die Unterschiede wurden aber, nicht zuletzt wegen der geringen Fallzahl und geringfügigen Unterschiede, von KARVÉ als Zufallsresultat gedeutet. Die Tab. 17 zeigt, daß bei der Höhe die linke Seite und bei der Breite die rechte Seite meist größer ist. Die Tiefe schließt sich der Breite an. Allerdings liegen für diese Dimension keine Vergleichswerte aus der Literatur vor (vgl. Tab. 15).

Tab. 17: Asymmetrieverhältnisse der Orbitalmaße bei KARVÉ (1931, n = 100, li) - KADANOFF & JORDANOV (1977, n = 412, mi) - RUDE (s. Tab. 15, n = 311, re)

HÖHE	gleich	73 %	30 %	44 %
	re größer	4 %	30 %	20 %
	li größer	23 %	40 %	36 %
BREITE	gleich	67 %	22 %	48 %
	re größer	28 %	60 %	40 %
	li größer	5 %	15 %	12 %

Sowohl die Kondylen als auch die Orbitae sind in der Längendimension rechts häufig größer als links. Bei der Breiten- und Höhendimension liegt ein umgekehrtes Verhalten vor. Hieraus darf aber nicht auf einen direkten Zusammenhang geschlossen werden. Dieser muß am selben Objekt geprüft werden (s. u.).

Aus dem Links-Rechts-Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Kondylenmaße und der Orbitalmaße, ist der Asymmetriegrad abzulesen, unter der Bedingung, daß die Steigung bei 1 liegt. Diese Voraussetzung ist hier gegeben. Je größer der Koeffizient wird, desto symmetrischer ist das untersuchte Merkmalspaar. Aus der

Tab. 18 geht hervor, daß an den Kondylen größere Differenzen vorkommen. Der Asymmetriegrad wird zum Gesicht hin geringer. INGLESSIS (1925) und KADANOFF et al. (1972) stellten auch größere Unterschiede am Hinterhaupt fest (vgl. Abb. 29 u. 30: Plagiocephalus).

Tab. 18: Korrelationskoeffizienten (links zu rechts) der Kondylen- und Orbitalmaße.

Kondylendimensionen		Orbitaldimensionen	
Länge	0.78	Tiefe	0.92
Breite	0.69	Breite	0.89
Höhe	0.78	Höhe	0.90

Die Untersuchung des intrakranialen Zusammenhangs brachte leider keine eindeutige, d. h. signifikante Ergebnisse, was die Beziehungen der Kondylen zum Schädel anbelangt, so daß auf eine tabellarische Wiedergabe verzichtet wird. Lediglich zwischen einigen anderen Merkmalen ergeben sich hohe und damit signifikante Kontingenzkoeffizienten (Interkorrelation). Die Ausbuchtung der frontalen, parietalen und okzipitalen Region korreliert mit dem Halbdurchmesser (half-perimeter) und dem Hervorragen des Orbitaunterrandes. Desweiteren verhalten sich Auriculare und Mandibulare gleichsinnig. Schon KARVE (1931) schreibt, daß die Asymmetrien der einzelnen Schädelpunkte ohne feste Korrelationen sind. BUSSE (1936) stellt zwar auch ein Überwiegen der rechten Gesichtshälfte fest, aber keinerlei gesetzmäßige Abhängigkeiten der einzelnen Asymmetrien.

Das negative Ergebnis kann nun folgende Gründe haben:

- a) Asymmetrien können gekreuzt (invers) und gleichseitig auftreten.
- b) Kompensationen können an mehreren Stellen stattfinden. Eine Kompensation in der Nähe der Kondylen bewirkt

eine Symmetrie in den Merkmalen, die in größerer Distanz erfaßt werden.

Punkt a konnte an der Urliste überprüft und bestätigt werden. Es stellte sich heraus, daß bei der Stichprobe die Kombination rechts - links oft genauso häufig vorkam, wie re - re und li - li. Auf diesen Sachverhalt haben schon RIBBE (1885), KARVÉ (1931) und KADANOFF et al. (1972) aufmerksam gemacht.

Zu Punkt b ist zu sagen, daß der Ort der Kompensation mit der vorliegenden Untersuchung schwer festzustellen ist. Das Einteilungsraster ist zu grob. KADANOFF et al. (1972) schreibt hierzu, daß sich in 50 % der Fälle die Asymmetrie der Hinterhauptsgegend zum Mastoideale fortsetzt und erst stirnwärts mehr und mehr durch die Kompensation ersetzt wird. Es ist auch unwahrscheinlich, daß alle besprochenen Arten der Asymmetrie der Kondylen die gleiche Bedeutung haben. Auf das graduelle Mißverhältnis der Schädelasymmetrie zur Stärke der Seitwärtsneigung beim Schiefhals hat schon SCHLAEFER (1931) hingewiesen. Es zeigt sich hierin eine unterschiedliche Kompensationsfähigkeit.

In dieser Untersuchung wurde die Vermutung (s. Punkt 1.3.) bestätigt, daß die formale Genese der kondylenasymmetrie nicht überwiegend monokausal, wie z. B. Händigkeit, erklärt werden kann. Unter physiologischen Bedingungen sind alle möglichen erworbenen wie erbten Einflußgrößen auf die Kondylen wahrscheinlich gleichwertig. Es kommt zu einem Kompromiß der von kaudal, kranial und lokal wirkenden Kräfte. Erst unter pathologischen Bedingungen gewinnt eine Größe das Übergewicht und tritt somit klar aus dem Beziehungsgefüge hervor. An totem Material ist dieses multifaktorielle Geschehen schwer zu analysieren wenn nicht gar unmöglich.

Synopsis

In allen 5 Punkten wurden die Interdependenzen zwischen der Form und Funktion des oberen und unteren Kopfgelenk untersucht.

Die konvexen Gelenkflächen im oberen Kopfgelenk erlauben in der Sagittalebene ein Drehgleiten, da sie hier die gleichen Krümmungsradien aufweisen. Eine Translationsbewegung ist somit nur im Rahmen des Gelenkspiels (joint play) möglich. Der sog. Kondylen- und Konvergenzwinkel hemmt die Bewegung, wobei die kleineren Atlasgelenkflächen wieder einen neuen Bewegungsspielraum erschließen und damit kompensatorisch wirken. Konvexe Formen haben das größte Bewegungsmaß. Durch Verblockung benachbarter Wirbel ist bekannt, daß zusätzliche Bewegungsreserven mobilisiert werden können. Das anatomisch Mögliche wird in der kinematischen Kette somit nicht immer genutzt.

Die Kondylengestalt ist sehr variabel. Es ist sogar möglich, daß es zu einer Umkehr der eben beschriebenen Verhältnisse kommt. Die Atlasgelenkfläche ist dann konvex geformt, bei konkaven Kondylen. Dieser Fall ist aber äußerst selten und stellt somit eine Ausnahme dar, die schon als Übergang vom Normalen zum Pathologischen angesehen werden kann. Neben konvexen Formen finden sich noch plane und prismatische (diédrische). Die korrespondierenden Gelenkpartner legen sich auch hier kongruent aneinander. Die Mechanik ist aber prinzipiell verschieden. Plane Flächen lassen nur ein Gleiten und geringe Wackelbewegungen zu. Komplizierter wird die Bewegung bei den prismatischen Gelenkflächen, wo zusätzlich zum Gleiten noch ein Kippvorgang stattfindet. Dieser Gelenktyp zeigt oft Einschnürungen bis zu vollständigen Teilungen, die am Atlas häufiger auftreten als an den Kondylen. Die Furchen sind mit Synovialpolstern ausgefüllt, wodurch die Gefahr einer Gelenkblockierung entsteht, die zu fixierten Atlasstellungen führen kann. Als normal ist die paradoxe Atlaskippung am Ende der Bewegung anzusehen.

Die zuvor genannte eigentümliche Kinematik des Atlas und die relativ großen Bewegungsmöglichkeiten in der sagittalen Richtung im unteren Kopfgelenk üben eine starke Belastung auf den Dens aus, die sogar zu Denslordosen führen kann. Dies ist bei Rotations- und Offsetbewegungen weniger der Fall.

Die Kopfgelenke haben neben der dynamischen Funktion auch eine statische zu erfüllen. Die Kippsicherheit wird durch die relativ großen und weit voneinander entfernten Kondylen erhöht. Die Kondylen werden auch länger, wenn der Schädel höher wird und damit die Gefahr besteht, daß der Schwerpunkt leichter außerhalb der Unterstützungsfläche gerät. Die Größe des Schädels hat wenig Einfluß auf die Ausprägung der Kondylen. Am Ende der HWS hat Th_1 ähnliche Funktionen zu erfüllen. Auch der Gelenkachsenwinkel im oberen und unteren Kopfgelenk steht in einer Beziehung zur Höhe des Schädels in dem Sinne, daß die Einkeilung größer wird, je weiter der Apex des Schädels entfernt ist. Allerdings reicht die Keilverbindung im unteren Kopfgelenk nicht aus, da hier die beiden Gelenkflächen fast plan sind. Der Dens axis wirkt als ein zusätzlich stabilisierendes Element. Dies wird vor allem deutlich, wenn er diese Funktion bei Frakturen und Aplasien nicht mehr erfüllen kann. Der Bandapparat wurde in dieser Arbeit außer acht gelassen.

Asymmetrische Gelenkformen sind durch ihre verschiedenen Drehpunkte, Krümmungsradien und Bewegungsmaße stark anfällig für Funktionsstörungen im Sinne von Gelenkblockierungen. Die Entstehungsursachen der Asymmetrie sind vielfältiger Natur, wobei dem Funktionsausfall (Blockierung) und der Funktion (Wändigkeit) eine morphoplastische Potenz zugesprochen wird. Die Dominanz einer Hirnhemisphäre wäre dann das Bindeglied zwischen der Form und Funktion. Es sind aber noch andere Ursachen anzuführen, wie Gewohnheits- und Berufshaltungen, frühkindliche Traumata und reflektorische Änderungen der Statik. Auch benachbarte Gefäße üben einen Einfluß aus. Die Form der Kondylen stellt somit einen Anpassungskompromiß zwischen den von kranial, kaudal und lokal wirkenden Faktoren dar.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchung wurde an einer großen ($n = 587$) und kleinen ($n = 50$) Schädelserie durchgeführt. Hierbei wurden objektive Meßmethoden und semiquantitative Formanalysen angewandt (Morphometrie und Morphognose) und die gewonnenen Daten anschließend statistisch aufgearbeitet. Folgende Ergebnisse (vgl. Synopsis S. 82) wurden erzielt:

1. Die Teilung der Okzipitalkondylen steht mit der Sutura intraoccipitalis nicht in Zusammenhang. Sie entsteht während der Ontogenese wahrscheinlich aus Proatlasmaterial und ist somit als Manifestation eines Okzipitalwirbels anzusehen (vgl. Abb. 31 - 42).
2. Die Passung (Kongruenz) im oberen Kopfgelenk ist sehr groß, so daß für Wackelbewegungen bei adulten Individuen mit straffer Gelenkkapsel kaum ein Spielraum bleibt. Es findet in sagittaler Richtung nur ein Drehgleiten statt.
3. Die korrespondierenden Gelenkparameter vom Atlas und den Kondylen sind mit Ausnahme des Krümmungsradius und des Kondylenwinkels am Atlas alle kleiner. Die Differenz wird als ein Maß der Beweglichkeit gedeutet. Gleiche Krümmungsradien sind die Voraussetzung für ein Drehgleiten.
4. Die Größe (Länge) des Dens axis hat die höchsten korrelativen Beziehungen zum äußeren Längsdurchmesser des Atlas ($r = 0.50$). Dies wird dahingehend gedeutet, daß bei Retro- und Anteflexionsbewegungen im medialen Atlantoaxialgelenk die stärkeren Belastungen auf den Dens einwirken. Je größer der Hebelarm, um so effektiver ist die Kraft. Die Rotationsbewegungen werden um den Dens geführt. Dieser stellt aber nicht immer den Mittel- oder Drehpunkt dar (Atlas = Exzentralscheibe).

5. Eine Bestimmung der Gelenkflächen der ersten Halswirbel (z. B. aus Röntgenbildern) wird durch ermittelte Regressionen ermöglicht. Die Meßstrecken sind die Maximalabstände der Gelenkflächen.
6. Zwischen der Form und dem Längsschnitt der Kondylen besteht eine konstante Beziehung. Den Längsschnittstypen (doppelt, diëdrisch, konvex, plan) werden verschiedene Bewegungsmöglichkeiten zugeordnet (unterschiedliche Kinematik).
7. Die Form der Kondylen ist sehr variabel (vgl. Bildokumentation). Als besondere Formcharakteristika werden Randfacetten angeführt. Auch eine konkave Kondylenform ist möglich, aber selten.
8. Die bekannten Beziehungen der Kondylenmaße (v. a. Länge und Fläche) zu Schädelparametern (v. a. Höhe) werden an beiden Serien bestätigt und um einen weiteren Parameter (Orbitalkapazität) erweitert. Sie belegen die statische Funktion des oberen Kopfgelenkes.
9. Bei Kondylen- und Orbitalmaßen bestehen signifikante Seitendifferenzen. Sie werden durch Vergleichswerte aus der Literatur weiter bestätigt. Ein intraindividueller Zusammenhang konnte bei dieser Merkmalsgruppe aber nicht festgestellt werden.
10. Eine Abhängigkeit der physiologischen Kondylenasymmetrie zur normalen Schädelasymmetrie besteht in der untersuchten Serie nicht. Die Kompensationsmöglichkeiten des menschlichen Körpers lassen mehrere Alternativen erkennen.
11. Die normalen Asymmetrien lassen sich nicht monokausal, wie z. B. Händigkeit und damit Dominanz einer Seite, erklären. Auch lokale Einflußgrößen sind zu berücksichtigen (s. Abb. 25 u. 26).

5. LITERATURVERZEICHNIS

- ABLER, W. (1976): Asymmetry in the skulls of fossil man; evidence of lateralized brain function? Brain Behav. Evol. 13 (5), 111 - 115
- ADACHI, B. (1904): Die Orbita und die Hauptmaße des Schädels der Japaner und die Methode der Orbitalmessung. Anatomische Untersuchungen an Japanern. Z. Morph. Anthropol. 7, 397 - 480
- ARLEN, A. (1977): Die „paradoxe Kippbewegung des Atlas“ in der Funktionsdiagnostik der Halswirbelsäule. Man. Med. 15 (1), 16 - 22
- BARTELS, P. (1897): Über Geschlechtsunterschiede am Schädel. Med. Diss. Berlin
- BERGMANN, P. (1967): On Varieties of the Atlas in Man. Folia morph. 26 (2), 129 - 139
- BERNHARD, W. (1975): Kraniometrische Untersuchungen zur funktionellen Morphologie des oberen Kopfgelenkes beim Menschen. Med. Diss. Mainz
- BERNHARD, W. (1976): Kraniometrische Untersuchungen zur funktionellen Morphologie des oberen Kopfgelenkes beim Menschen. Gegenbaurs morph. Jahrb. 122, 203 - 231; 497 - 534
- BLOCH, S. & DANZIGER, J. (1974): Iroatlantal intersegmental artery. Neuroradiology 7, 5 - 8
- BOLK, L. (1921): Die verschiedenen Formen des Condylus tertius und ihre Entstehungsursache. Anat. Anz. 54, 335 - 347
- BOYD, G. (1930): The emissary foramina of the cranium in man and the anthropoids. J. Anat. 65, 108 - 121
- BROCHER, J. E. W. (1955): Die Okzipito-Zervikalgegend. Stuttgart
- BUSCH, H. (1936): Über normale Asymmetrien des Gesichts und im Körperbau des Menschen. Z. Morph. Anthropol. 35, 412 - 445

- CARELIA, A. (1973): Valuations of the Sagittal Diameter of Atlas and Axis in Cases of Slight Anomaly of the Atlas. *Neuroradiology* 5, 195 - 196
- CARLIOZ, H. & DUBOUSSET, J. (1973): Les instabilités entre l'atlas et l'axis chez l'enfant. *Rev. Chir. Orthop.* 59, 291 - 307
- CATTELL, H. S. & FILTZER, D. L. (1965): Pseudosubluxation and other normal variations in the cervical spine in children. A study of one hundred children. *J. Bone Jt. Surg.* 47-A, 1295 - 1309
- CHARAZINSKA, Z. (1973): Obserwacje własne asymetrii twarzy uwarunkowanej zmianami w budowie czaszki i ustawieniu kręgów szyjnych. *Czas. Stomat.* 26 (9), 1019 - 1026
- CORAINI, E. (1901): L'articolazione bigemina del fregma. *Atti Soc. Rom. Antrop.* 7, 49 - 66
- CORNER, E. M. (1906): The Physiology of the lateral Atlanto-Axial Joints. *J. Anat. Physiol.* 41, 149 - 154
- DELAIRE, J. et al. (1965): Malformations faciales et asymétrie de la base du crâne. *Rev. Stomatol.* 66 (7) 379 - 396
- DEPREUX, R. & MESTDAGH, H. (1974): Anatomie fonctionnelle de l'articulation sous occipitale. *Lille Médical.* 19 (2), 122 - 125
- EDINGER, T. (1933): Die Foramina parietalia der Säugetiere *Zschr. Anat. Entw.gesch.* 102, 266 - 289
- EMR, J. et al. (1977): Symptomatika syndromu asymetrie těla v klinickém a rentgenovém obraze paradoxní skoliozy. *Acta Chir. Orthop. Traumatol. Cech.* 44 (3), 221 - 231
- FELTEN, H. (1957): Über Atlasluxationen. *Z. Orthop.* 89, 293 - 309
- FERRÉ, J. C. (1971): Asymetries cranio-faciales et troubles de la statique vertébrale. *Orthod. Fr.* 42, 389 - 410
- FICK, R. (1904): Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, Teil I. Anatomie der Gelenke. Jena
- FICK, R. (1910): Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, Teil II. Allgemeine Gelenk- und Muskelmechanik. Jena

- FICK, R. (1911): Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, Teil III. Spezielle Gelenk- und Muskelmechanik. Jena
- FIELDING, J. W. & HAWKINS, R. J. (1977): Atlanto-Axial Rotatory Fixation. J. Bone Jt. Surg. 59-A, 37 - 44
- FISCHER, E. & SCHMIDT, H. (1969): Die degenerativen Veränderungen des vorderen Atlanto-dentalen Gelenks. Fortschr. Geb. Röntgenstr. Nuklearmed. 111, 552 - 8
- FISCHER-WASELS, J. (1959): Über die Atlasfehlstellung. Z. Orthop. 91, 3 - 25
- FROSCH, L. (1920): Über die Schädelskoliose der Menschen und der Säugetiere, ihre anatomischen Formen und ihre Ätiologie. Beitr. Pathol. Anat. 67, 114 - 141
- GANGULY, D. N. & SINGH-ROY, K. K. (1964): A Study on the Craniovertebral joint in the Man. Anat. Anz. 114, 433 - 452
- GANZ, R. (1972): Über das Os odontoideum. Z. Unfallmed. Berufskr. 65, 28 - 34
- GOEB, A. (1956): Die Blockierung des Atlanto- Okzipitalgelenkes bei Variationen und Veränderungen des Gelenkes. Verh. D. Orthop. Ges., Beil. Z. Orthop. 43, 244 - 246
- GUTMANN, G. (1969): Schulkopfschmerz und Kopfhaltung. Ein Beitrag zur Pathogenese des Anteflexions-Kopfschmerzes und zur Mechanik der Kopfgelenke. Z. Orthop. 105, 497 - 515
- GUTMANN, G. (1972): Asymmetrie der Gelenke der Halswirbelsäule. Ihre Bedeutung für Klinik, manuelle Therapie und Prognose. Man. Med. 10, 50 - 59
- GUTMANN, G. (1976): Kopfgelenke und Kopfschmerz. Schw. Rdsch. Med. Praxis 65, 1059 - 1072
- GUTMANN, G. (1977): Einleitende Stellungnahme zu der folgenden Arbeit von Herrn Kollegen ARLEN. Man. Med. 15 (1), 15 - 16

- GUTMANN, G. (1979): Das subforaminale Kompressions-syndrom. In: Theoretische Fortschritte und praktische Erfahrungen der manuellen Medizin. Hrsg. Neumann, H. D., Wolff, H. D., Baden - Baden S. 281 - 288
- GUTMANN, G. (1981): Funktionelle Pathologie und Klinik der Wirbelsäule. Bd. 1. Die Halswirbelsäule. Teil 1. Die funktionsanalytische Röntgendiagnostik der Halswirbelsäule und der Kopfgelenke. Stuttgart, New York
- HAGEN-THORN, J. (1931): Die Lösung des Problems über die Entstehung der Schädelasymmetrie und Skoliose bei Caput obstipum. Die Beseitigung derselben durch die Operation nach meiner Methode. Arch. Klin. Chir. 163, 35 - 54
- HAJNIŠ, K. (1963): Die Korrelation zwischen der Schädelkapazität und den linearen Schädelmaßen und Schädelindexen. Anthropologie Brno 3, 47 - 53
- HAJNIŠ, K. (1964): Die Bestimmung der Schädelkapazität aus den Schädelmaßen. Anthropologie Brno 2, 41 - 47
- HALLER, A. (1910): Untersuchungen über Ätiologie und Vorkommen der Scoliosis capitis. Med. Diss. Freiburg
- HANSEMANN, D. v. (1908): Über die Asymmetrie der Gelenkflächen des Hinterhauptes. Zschr. Ethnol. 40, 994 - 997
- HEINTEL, H. (1971): Ein Kranimeter als Hilfsmittel bei der quantitativen Erfassung pathologischer Schädelasymmetrien anhand von Schädelübersichtsaufnahmen. Ein Beitrag zur Diagnostik frühkindlicher Hemisphärenschäden als Ursache von Epilepsien. Nervenarzt 42 (5), 273 - 275
- HESS, H. (1938): Beiträge zur Kenntnis der Asymmetrie des Gesichtes bei menschlichen Embryonen, Neugeborenen und bei Kindern bis zum 14. Lebensjahr. Z. Morph. Anthropol. 37, 567 - 581
- HOHL, M. & BAKER, H. R. (1964): The atlanto-axial joint. J. Bone Jt. Surg. 46-A, 1739 - 1752

- HUTCHINSON, N. A. & MILLER, J. D. (1970): Persistent Proatlantal Artery. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry 33, 524 - 527
- INGEIMARK, B. E. (1943): Zusammenhang zwischen der Händigkeit und den Asymmetrien und Belastungsverhältnissen der Extremitäten sowie des Rückgrats. Upsala Läkarefören. Förhandl. N. F. 48 (5/6), 227 - 391
- INGEIMARK, B. E. & LEWIN, T. (1968): Asymmetrien und Formabweichungen des Achsenskeletts, besonders im Hinblick auf die Skoliose. Die Wirbelsäule in Forsch. und Praxis 40, 83 - 94
- INGLESSIS, M. (1925): Untersuchungen über Symmetrie und Asymmetrie der menschlichen Großhirnhemisphären. Zschr. f. d. ges. Neurol. u. Psychiatrie 95 A, 464 - 472
- INGLESSIS, M. (1925): Über Kapazitätsunterschiede der linken und rechten Hälfte am Schädel bei Menschen (insbesondere Geisteskranken) und über Hirnasymmetrie. Zschr. f. d. ges. Neurol. u. Psychiatrie 97 B, 354 - 373
- JACOBSHAGEN, B. (1981): Die Variabilität des Schädels pongider und hominider Primaten. Vergleichende funktionell-morphologische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung der vom Kauapparat belasteten Strukturen. Diss. Hamburg
- JACOBSON, G. & ADLER, D. C. (1953): An Evaluation of Lateral Atlanto-Axial Displacement in Injuries of the Cervical Spine. Radiology 61, 355 - 362
- JACOBSON, G. & ADLER, D. C. (1956): Examination of the Atlanto-Axial Joint following Injury. (With particular emphasis on rotational subluxation). Am. J. Roentg. 76, 1081 - 1094
- JIROUT, J. (1969): Röntgenbewegungsdiagnostik der Halswirbelsäule und der Kopfgelenke. Nan. Med. 7, 121 - 125
- JIROUT, J. (1973): Changes in the Atlas-Axis Relations on Lateral Flexion of the Head and Neck. Neuroradiology 6, 215 - 218

- JIROUT, J. (1976): Die Bedeutung der Synkinesien für die Entstehung der Wirbelblockierungen. *Man. Med.* 14, 43 - 45
- JIROUT, J. (1978): Zur Statik der Kopfgelenke. *Man. Med.* 16, 1 - 2
- KADANOFF, D. & MUTAPOV, S. (1967): Über die Symmetrie und Asymmetrie der Füße erwachsener Menschen. *Gegenbaurs morph. Jahrb.* 110, 377 - 389
- KADANOFF, D. et al. (1971): Über Symmetrie und Asymmetrie der männlichen Hand. *Gegenbaurs morph. Jahrb.* 116, 231 - 240
- KADANOFF, D. & JORDANOV, J. (1971): Äußerungen der nichtsynostotischen Plagiocephalie in der Form und Struktur des knöchernen Gaumens. *C. r. Acad. bulg. Sci.* 24 (7), 945 - 948
- KADANOFF, D. et al. (1972): Über das Wesen der nichtsynostotischen Plagiocephalie und die Unterschiede in ihren Erscheinungen. *Gegenbaurs morph. Jahrb.* 117 (3), 377 - 407
- KADANOFF, D. & JORDANOV, J. (1977): Die Asymmetrie der Form und Größe des Aditus orbitae beim Menschen. *Verh. Anat. Ges.* 71, 1283 - 1288
- KANSU, S. & TUNAKAN, S. (1953): Türklerde göz çukuru kapasitesi üzerinde araştırma. *Ankara Üniversitesi il re Tarih-Cografya Fakültesi Dergisi* 11, 161 - 170
- KARVÉ, I. (1931): Normale Asymmetrie des menschlichen Schädels. *Diss. Berlin*
- KIADETZKY, J. (1955): Zur Entwicklung des Dens epistrophei. *Gegenbaurs morph. Jahrb.* 94, 520 - 554
- KNESE, K. H. (1936): Das Kopfgelenk der aquatilen Säugetiere. *Gegenbaurs morph. Jahrb.* 78, 314 - 376
- KNESE, K. H. (1943): Kopfgelenk, Kopfhaltung und Kopfbewegung des Menschen. *Zschr. Anat. Entw.gesch.* 114, 67 - 107
- KOVAČUŽ, A. (1956): Cephalgia e subluxatione articulationum cervicalium. *Fortschr. Röntgenstr.* 85, 142 - 153

- KRETSCHMER, W. (1972): Konstitution und Rasse. In: Neue Anthropologie. Hrsg. Gadamer, H.-G. u. Vogler, T. Stuttgart, Bd. 2, S. 258 - 291
- LANG, J. (1981): Klinische Anatomie des Kopfes. Neurokranium, Orbita, Kraniozervikaler Übergang. Berlin
- LEMAY, M. (1977): Asymmetries of the skull and handedness. Phrenology revisited. J. Neurol. Sci. 32 (2), 234 - 253
- LEWIT, K. (1971): Blockierung von Atlas-Axis und Atlas-Okziput im Röntgenbild und Klinik. Z. Orthop. 108, 43 - 50
- LEWIT, K. (1971): Ligament Pain and Anteflexion Headache. Eur. Neurol. 5, 365 - 378
- LEWIT, K. & KRAUSOVA, L. (1963): Messungen von Vor- und Rückbeuge in den Kopfgelenken. Fortschr. Röntgenstr. 99, 538 - 543
- LEWIT, K. & KRAUSOVA, L. (1964): Mechanismus und Bewegungsausmaß der Seitneigung in den Kopfgelenken. Fortschr. Röntgenstr. 101, 194 - 201
- LIBREICH, R. (1908): Die Asymmetrie des Gesichts und ihre Entstehung. Wiesbaden
- LUDWIG, W. (1932): Das Rechts-Links-Problem im Tierreich und beim Menschen. Berlin (Reprint Springer, Berlin 1970)
- MACCONALL, M. & BASHAJIAN, J. (1969): Muscles and Movements. Baltimore
- MARAR, B. & PAIACHANDRAN, N. (1973): Non-traumatic Atlanto-Axial Dislocation in Children. Clin. Orthop. 92, 220 - 226
- MARTIN, R. (1928): Lehrbuch der Anthropologie. Bd. 2. Kraniaologie, Osteologie. Jena
- MASLOWSKI, Z. (1964): Próba oceny stopnia asymetrii niektórych jam czaszki. Roczn. Pomor. Akad. Med. 20, 183 - 191
- MATTHEWS, J. (1974): Atlanto-Axial Subluxation in Rheumatoid Arthritis. A 5-year Follow-up Study. Ann. Rheum. Dis. 33, 526 - 531
- MATZDORF, J. (1956): Röntgenuntersuchungen über die Bedeutung der Atlasregion als Krankheitsfaktor. Z. Orthop. 87, 165 - 174

- MATZDORF, H. (1956): Beitrag zur Frage der Atlasseubluxation. Verh. D. Orthop. Ges., Beil. Z. Orthop. 87, 246 - 248
- MEIENBERG, P. (1962): Ein Beitrag zur Morphogenese des oberen Endes der Halswirbelsäule. Z. Morph. Anthrop. 52, 76 - 92
- MENELL, J. (1949): The Science and Art of Joint Manipulation. Bd. 1. London
- MISCH, M. (1905): Beiträge zur Kenntnis der Gelenkfortsätze des menschlichen Hinterhauptes und der Varietäten in ihrem Bereich. Med. Diss. Berlin
- OBICI, G. & VECCHIO, R. del (1895): Intorno ad una nuova anomalia dei condili occipitali studiati in 214 crani di pazzi. Rivista sperimentale di freniatria e di med. legale 21 (1), 56 - 74
- OLIVIER, G. & DEFOLIIE, F. (1975): Asymétrie, correlations et différence sexuelle des caracteres descriptifs du crâne. Bull. Assoc. Anat. 59 (164) 241 - 246
- OLLIVIER, C. P. (1824): Traités des maladies de la moëlle épinière. Paris. Übersetzt von Radius, J. (1824): Über das Rückenmark und seine Krankheiten. Leipzig
- PIERNIOFF, E. (1952): Topographische Anatomie des Menschen. Bd. 3. Wien
- PETERS, A. (1908): Ueber Gesichts- und Schädelasymmetrien und ihr Verhältnis zum Calut obstipum. Münch. Med. Wschr. 55, 1781 - 1782
- PEXIDEROVA, R. (1931): Beitrag zur anatomischen Anthropologie der Orbita. Anthrop. Prag 2, 276 -
- PUTZ, R. (1976): Zur Morphologie und Rotationsmechanik der kleinen Gelenke der Lendenwirbel. Z. Orthop. 114, 902 - 912
- PUTZ, R. & FOMARCHI, A. (1972): Form und Funktion der Articulatio atlanto-axialis lateralis. Acta anat. 83, 333 - 345
- RIBBE, F.-O. (1885): Étude sur l'ordre d'oblitération des sutures du crâne dans les races humaines. Thèse, Paris

- RICHTER, H. (1926): Ein röntgenologischer Beitrag zum Studium der Schädelasymmetrie. Arch. Ohr.-Nas.-Kehlk.kh. 115, 222 - 228
- ROMER, A. S. (1971): Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere. Hamburg, Berlin
- ROMICH, S. (1933): Ueber Asymmetrien des menschlichen Körpers und ihre Bedeutung in der Orthopädie. Wien. Klin. Wschr. 46 (2), 1021 - 1023
- RÜSING, F. W. (1975): Die fränkische Bevölkerung von Mannheim-Vogelstang (6.-7. Jh.) und die merowingerzeitlichen Germanengruppen Europas. Diss. Hamburg
- RUDE, J. (1978): Anthropologische und anatomische Untersuchung an einer spätrömischen-mittelalterlichen Schädelserie aus dem Trierer Raum. Dipl.-Arbeit Mainz
- SACUS, L. (1969): Statistische Auswertungsmethoden. Berlin, Heidelberg, New York
- SCHAPS, P. et al. (1968): Zur Differentialdiagnostik und Therapie der Atlanto-Axialen Dislokation. Beitr. Neurochir. 15, 265 - 271
- SCHLAPFER, K. (1931): Über die Asymmetrien des Schädels und ihre Beziehungen zu anderweitigen Anomalien. Med. Diss. Rostock
- SCHMIDT, H. (1959): Okzipitale Dysplasien. I. Die Manifestation des Okzipitalwirbels im Röntgenbild. Fortschr. Röntgenstr. 90, 691 - 704
- SCHMIDT, H. (1959): II. Die okzipitale Hypoplasie. Fortschr. Röntgenstr. 91, 207 - 221
- SCHMIDT, H. (1959): III. Begleitende Entwicklungsstörungen und Folgen der okzipitalen Dysplasie. Fortschr. Röntgenstr. 91, 221 - 233
- SCHREIBER, W. (1907): Über die Deviation der anatomischen von der geometrischen Medianebene des menschlichen Schädels in Bezug auf die Bi-aurikularlinie. Arch. Anthropol. 34, 256 - 269
- SCHULTZ, A. H. (1918): Anthropologische Untersuchung an der Schädelbasis. Arch. Anthropol. 44, 1 - 103

- SCHUMACHER, G. H. et al. (1972): Quantitative Untersuchungen zur Erfassung von Asymmetrien des Kopfes I. Schädelhöhle, Gehirn und Knochen des Schädels. Anat. Anz. 131 (5), 391 - 405
- SERGI, G. (1909/10): Sull'asimmetria dei condili occipitali nell'uomo. Atti Soc. Rom. Antrop. 15, 173 - 186
- SHAPIRO, R. et al. (1973): The Differential Diagnosis of Traumatic Lesions of the Occipito- Atlanto- Axial- Segment. Radiol. Clin. North. Am. 11, 505 - 526
- STAUB, H. A. (1921): Faziale Asymmetrie als Frühdia- gnostikum zervikodorsaler Skoliosen. Münch. Med. Wschr. 68, 364
- STIEVE, H. (1921): Bilaterale Asymmetrien im Bau des menschlichen Rumpfskelettes. Zschr. Anat. Entw.gesch. 60, 307 - 410
- STOFFT, E. (1970): Die menschliche Halswirbelsäule. (Eine Analyse der Bandstrukturen und der Inter- vertebralgelenkflächen). Lan. Med. 8, 133 - 139
- STOFFT, E. (1971): Zur Morphologie der unteren Wirbel- säulenregion. Phys. Med. u. Rehabilit. 12, 69 - 73
- STOFFT, E. (1972): Flächengrößen der Intervertebral- gelenke bei Mensch und Tier. Anat. Anz. 130, 489 - 497
- STOFFT, E. (1976): Zur Morphometrie des oberen Kopf- gelenkes (Beitrag zur Statik der zerviko-okzipitalen Übergangsregion). Verh. Anat. Ges. 70, 575 - 584
- STOFFT, E. (1978): Zur Morphologie und Funktion der Zervi- ko-okzipitalen Übergangsregion. Die Wirbelsäule in Forsch. und Praxis 76, 9 - 7
- STOFFT, E. & MÜLLER, G. (1971): Eine vergleichende Analyse der Intervertebralgelenkflächen. Anat. Anz. 128, 355 - 363
- STOFFT, E. & POHL, A. (1978): Dens-Fraktur im Experiment (Beitrag zur Bruchfestigkeitsbestimmung des Knochens) Verh. Anat. Ges. 72, 123 - 132
- SPRASSER, H. (1903-1917): Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik. Berlin

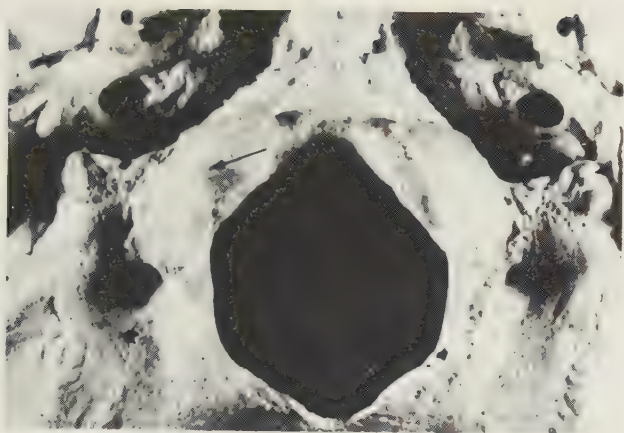
- STRECKER, C. (1887): Ueber die Condylen des Hinterhauptes.
Arch. Anat. Physiol., Anat. Abt. 301 - 338
- THOM, H. (1961): Über die Beziehungen zwischen Schädel-
asymmetrie und Säuglingsskoliose. Arch. Orth.
Unfallchir. 53, 250 - 263
- TIMANN, (1903): Diskussionsteilnehmer im Beitrag von
Hansemann, D. v. (1908): s. o.
- TÜNDURY, G. (1958): Entwicklungsgeschichte und Fehl-
bildungen der Wirbelsäule. Stuttgart
- TORKLUS, D. v. & GEHLE, W. (1970): Die obere Halswirbel-
säule. Regionale Morphologie, Pathologie und Trau-
matologie; praktischer Röntgenatlas und Systematik.
Stuttgart
- ULBRICH, D. & LÖHR, E. (1973): Die Diagnostik und Klinik
der Occipito-cervicalen Skelettfehlbildungen.
Radiologe, 131, 523 - 530
- VASSAI, P. (1953): Les Asymétries faciales. Rev. Pathol.
Génér. et Comp. 653, 1540 - 1568
- VIG, P. & DEWITT, A. B. (1974): Is craniofacial asymmetry and
adaptation for masticatory function an evolutionary
process? Nature 248, 165
- VOGEL, C. (1974): Biologie in Stichworten V. Humanbiologie
Menschliche Stammesgeschichte - Populations-
differenzierung. Kiel
- VOIGT, K. & EICKHOFF, U. (1974): Komplexe Dysplasien der
atlanto-okzipitalen Übergangsregion. Fortsch. Geb.
Röntgenstr. Nuklearmed. 120, 477 - 480
- WACKENHEIM, A. (1968): Les dysplasies des condyles
occipitaux. Ann. Radiol. 11, 535 - 543
- WACKENHEIM, A. (1970): Facial Asymmetry and Transverse
Dislocation of the Cervico-Occipital Joint.
Neuroradiology 1, 112 - 116
- WACKENHEIM, A. (1971): Functional Atlanto-Occipital Block.
Neuroradiology 3, 80 - 81
- WEISS, S. (1923-24): Über angeborene Asymmetrie beim
Säugling. Sitz.-ber. Anthropol. Ges. Wien 54, 11 - 13

- WELCKER, H. (1882): Die Asymmetrien der Nase und des Nasenskeletes. In: Beiträge zur Biologie, als Festgabe dem Anatomen und Physiologen Th. v. Bischoff. Stgt.
- WELKER, F. (1910): Anthropologische Untersuchungen über das Atlantooccipitalgelenk bei Menschen und Affen. München. Anm: Buch ist ohne Datum erschienen. Nach dem Literaturverzeichnis Anfang 20. Jh. ca. 1910.
- WERNE, S. (1959): The Possibilities of Movement in the Cranio-vertebral Joints. Acta orthop. scand. 28, 165 - 173
- WESSELY, K. (1921): Beiträge zu den Wachstumsbeziehungen zwischen dem Aufapfel und seinen Nachbarorganen. A. v. Graefes Arch. Ophth. 105, 491 - 501
- WEVILL, L. B. (1928): The occipital bone and the bones of the superior extremity in relation to 'right'- or 'left'-handedness. Edinburgh med. J.
- WHITNEY, C. (1926): Asymmetry of Vertebral Articular Processes and Facets. Am. J. Phys. Anthropol. 9 (4), 451 - 457
- WIEGAND, H. R. (1965): Die rechtsseitige höhere Frequenz der typischen Trigeminusneuralgie gegenüber links und eine sich anbietende Erklärung der Asymmetrie. Chirurg 36 (12), 538 - 544
- WOLFF, H. D. (1981): Grundlagen der Manuellen Medizin. In: Scriptum zum Informationskurs der Deutschen Gesellschaft für Manuelle Medizin. Hrsg. Neumann, W. O. Bühl
- WOO, T. L. (1931): On the asymmetry of the human skull. Biometrika 22, 324 - 352
- ZERBROWSKI, W. (1973): Kłiczne znaczenie asymetrii głowy typu plagiocefalii. Pol. Tyg. Lek. 28 (52), 2058 - 2060

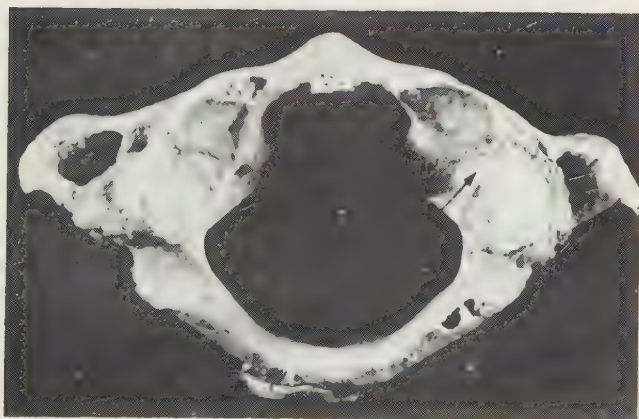
6. ANHANG : BILDDOKUMENTATION

Seite

Abb. 11-12:	Korrespondierende Gelenkflächen (Atlas/Cond.)	I
Abb. 13-14:	Geteilte Atlas-G.fl. bei ungeteiltem Condylus	II
Abb. 15-16:	Basilare Impression und kondyläre Hypoplasie	III
Abb. 17	: Kondylenprominenz in das Foramen magnum	IV
Abb. 18	: Foramen magnum ohne Einschnürung	IV
Abb. 19-20:	Plane Kondylen-Gelenkflächen	V
Abb. 21-22:	Konkave Kondylen-Gelenkflächen	VI
Abb. 23-24:	Randfacetten / Einstellungsfurchen	VII
Abb. 25	: Asymmetrie des Foramen jugulare	VIII
Abb. 26	: Asymmetrie des Canalis condylaris posterior	VIII
Abb. 27-28:	Arthrosis deformans an den Kopfgelenken	IX
Abb. 29-30:	Nichtsynostotischer Plagiocephalus	X
Abb. 31-36:	Sutura intraoccipitalis anterior	XI
Abb. 37-42:	Doppelt angelegte Kondylen-Gelenkflächen	XII
Abb. 43-48:	Diëdrische / Prismatische Gelenkflächen	XIII
Abb. 49-50:	Eingeschnürte (geigenförmige) Gelenkflächen	XIV
Abb. 51-54:	Bohnenförmige Kondylen-Gelenkflächen	XV
Abb. 55-56:	Hakenförmige Kondylen-Gelenkflächen	XV
Abb. 57-60:	Klauenförmige Kondylen-Gelenkflächen	XV
Abb. 61-66:	Plane Kondylen-Gelenkflächen	XVI
Abb. 67-72:	Konvexe, längsovale Kondylen-Gelenkflächen	XVII
Abb. 73-78:	Rhombische Kondylen-Gelenkflächen	XVIII
Abb. 79-84:	Mischformen von Gelenkflächentypen	XIX
Abb. 85-90:	Randfacetten / Einstellungsfurchen	XX
Abb. 89-90:	Dreilappige Kondylen-Gelenkfläche	XX

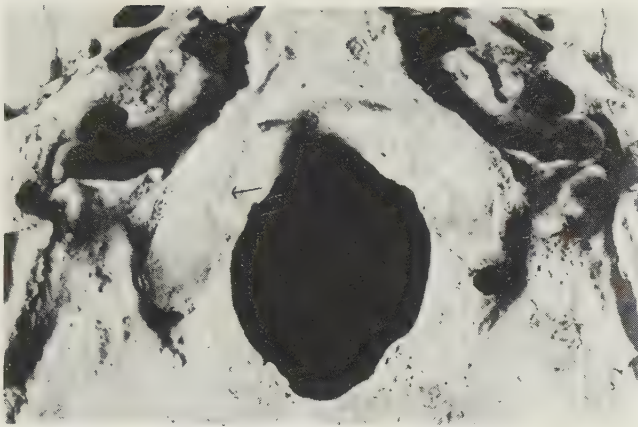


11

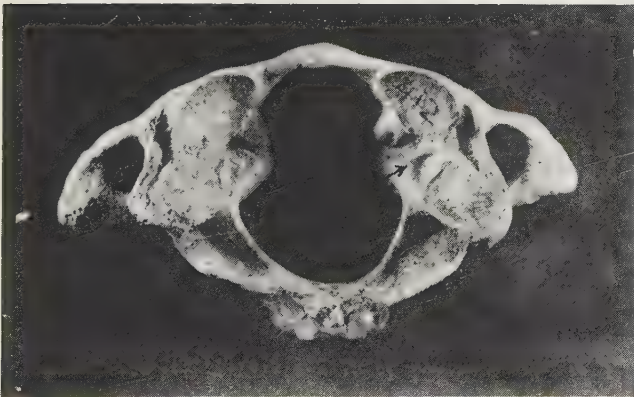


12

Abb. 11-12: Korrespondierende Kondylen-Atlas-Gelenkflächen. Doppelte G.fl. am Atlas entsprechen eingeschnürten Gelenkflächen an den Kondylen. (↑)

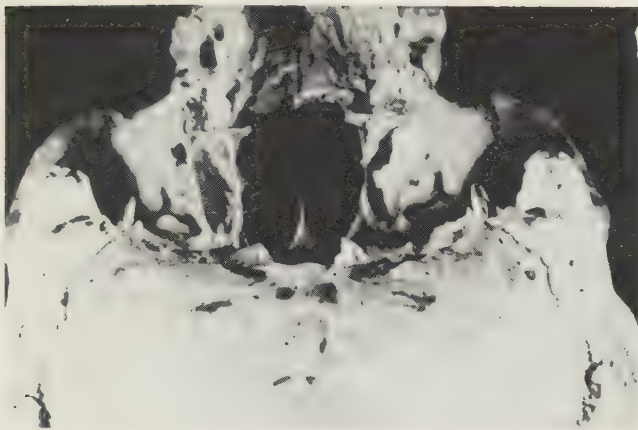


13

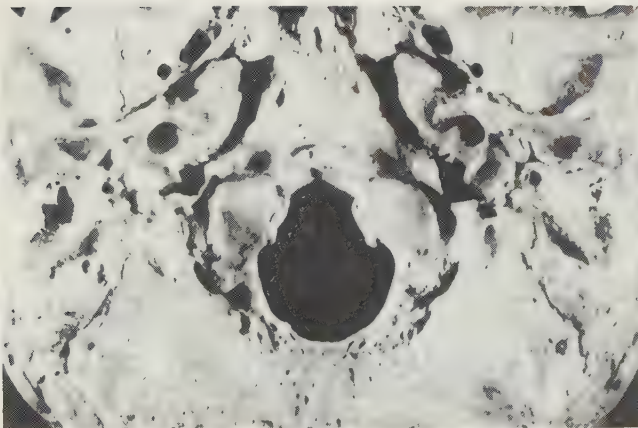


14

Abb. 13-14: Korrespondierende Kondylen-Atlas-Gelenkflächen. Doppelte G.fl. am Atlas entspricht eingeschnürter Gelenkfläche am Condylus (†)

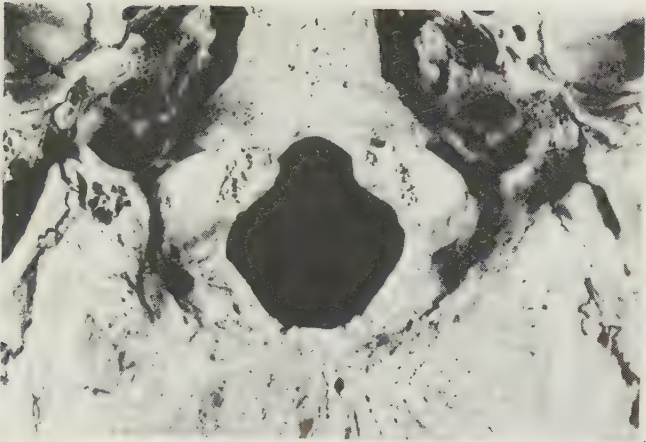


15



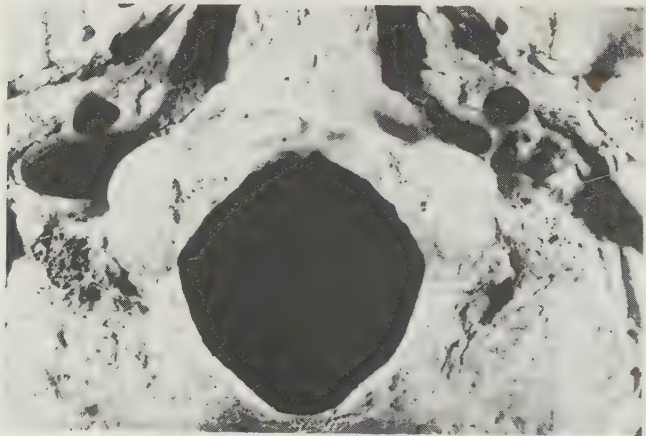
16

Abb. 15-16: Basilare Impression und kondyläre Hypoplasie



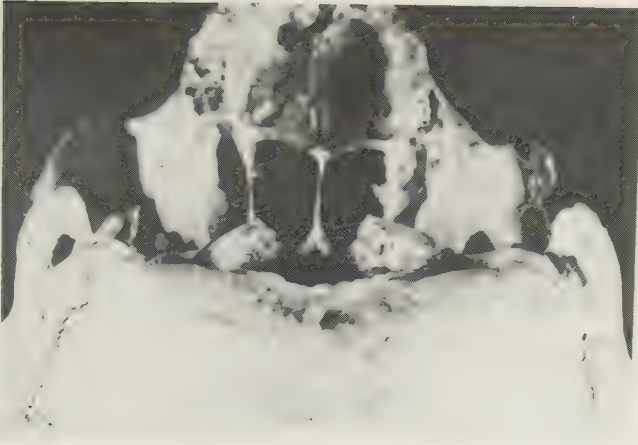
17

Abb. 17: Kondylenprominenz in das For. magnum



18

Abb. 18: Foramen magnum ohne Einschnürung



19

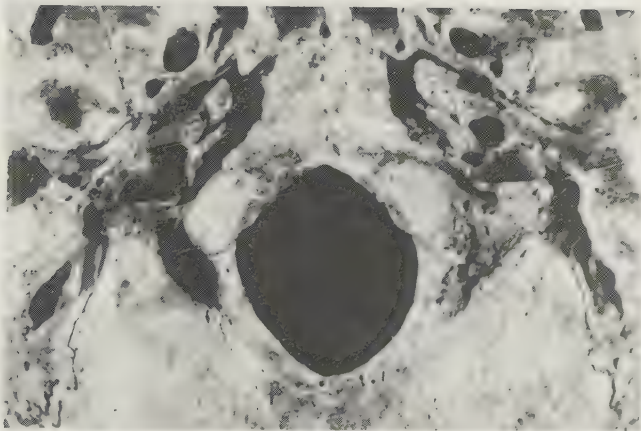
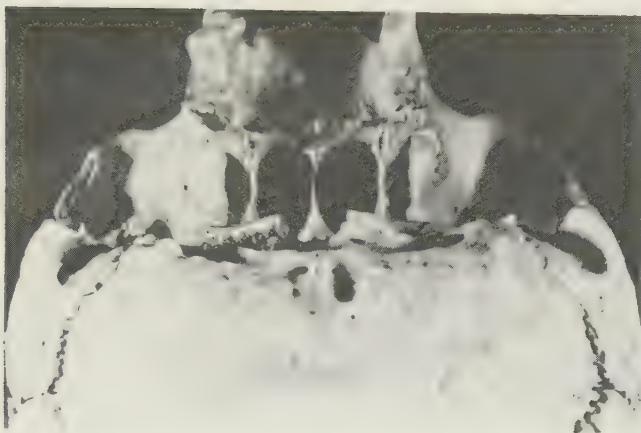
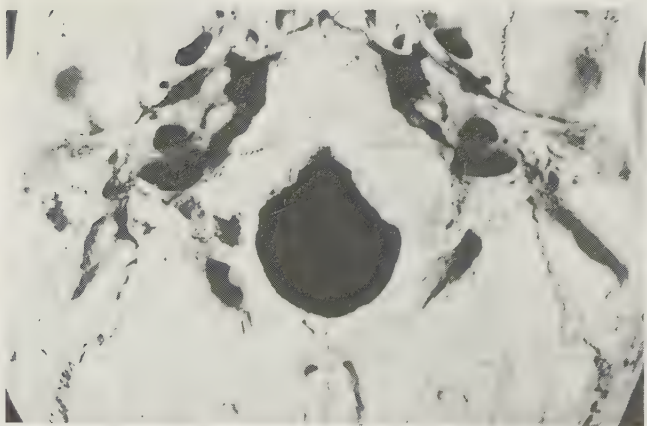


Abb. 19-20: Plane Kondylen-Gelenk

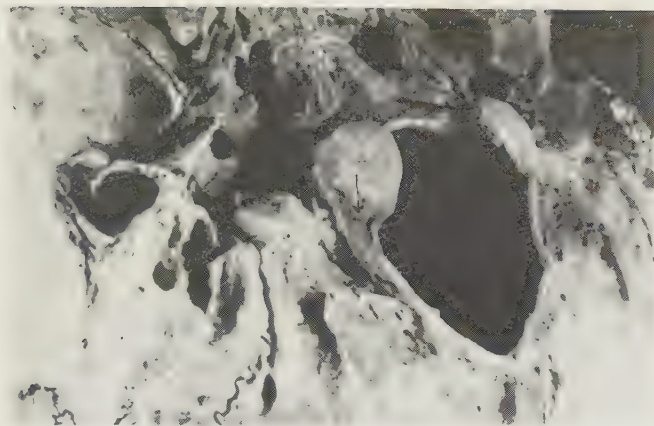


21

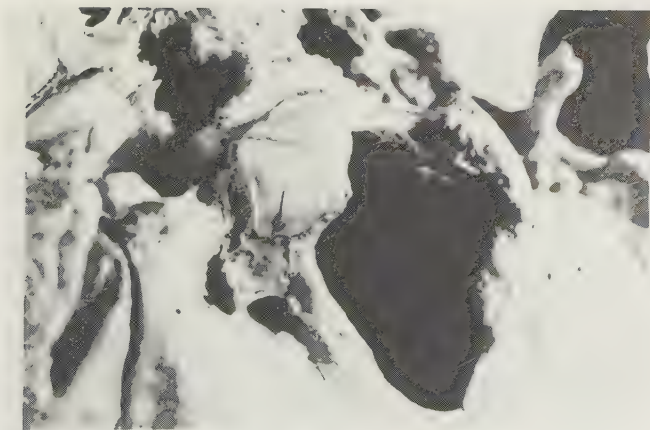


22

Abb. 21-22: Konkave Kondylen-Gelenkflächen



23



24

Abb. 23-24: Randfacetten / Einstellungsfurchen (↑)

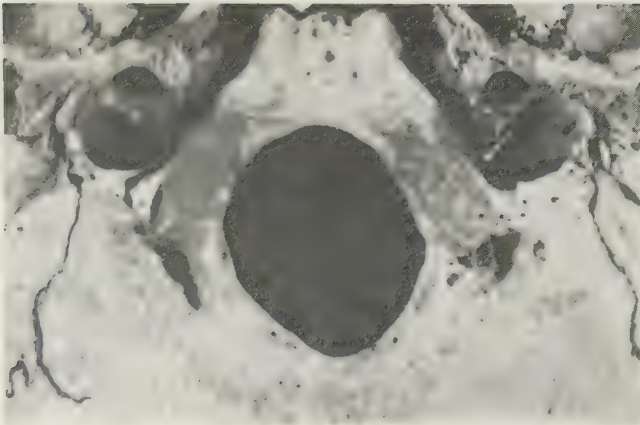


Abb. 25: Einfluß des For. jugulare (†), auf die Kondylenstellung → Asymmetrie

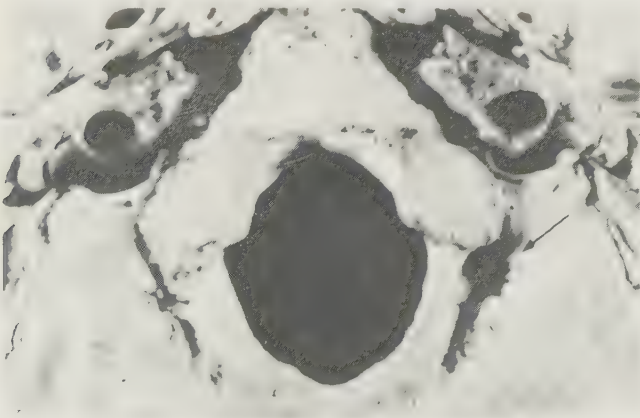
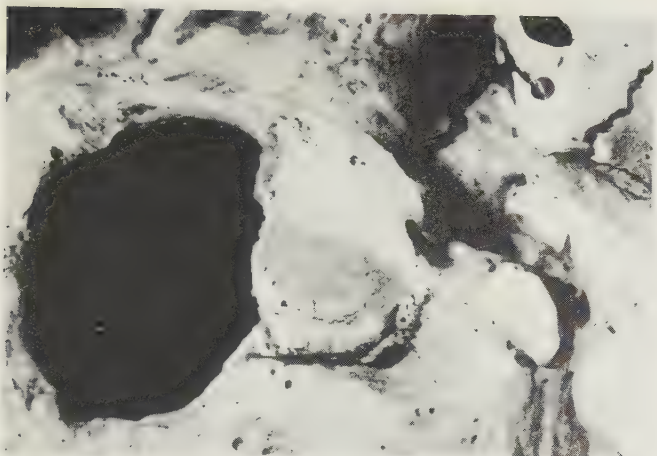


Abb. 26: Einfluß des Can. condylaris (†), auf die Kondylenform (Länge) → Asymmetrie



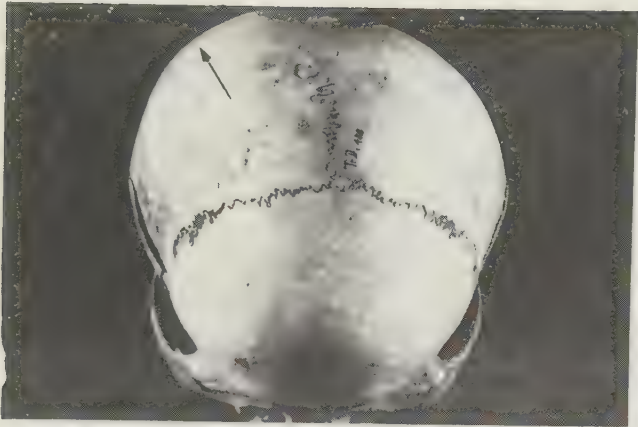
27

Abb. 27: Arthrosis deformans an den Kondylen

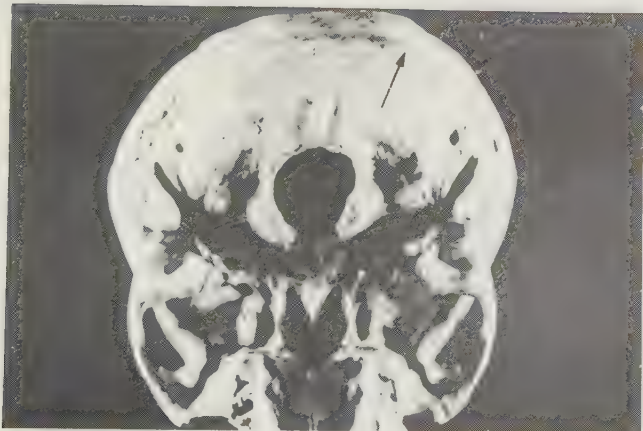


28

Abb. 28: Arthrosis deformans am Atlanto-Dental-Gelenk

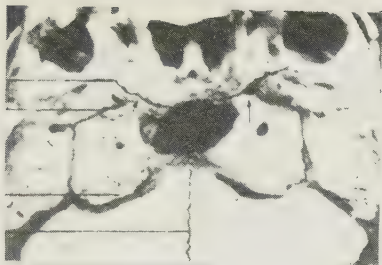


29

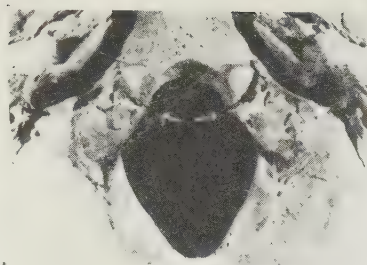


30

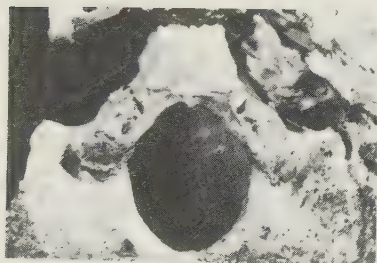
Abb. 29-30: Plagiocéphalia dextra mit gleichsinniger Verschiebung der Kondylen(†)



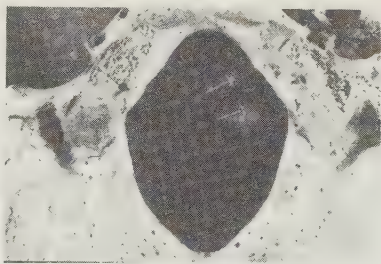
31



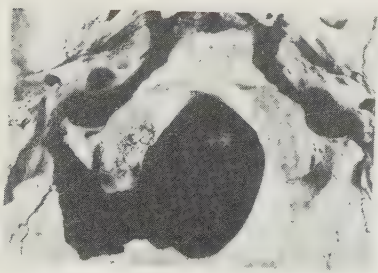
32



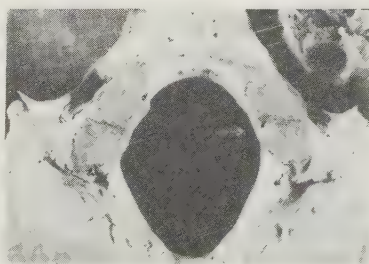
33



34

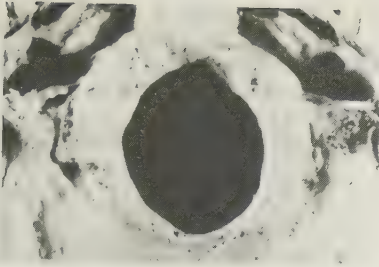


35

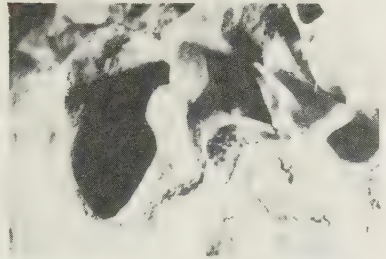


36

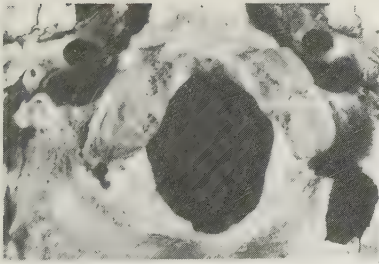
Abb. 31-36: Sutura intraoccipitalis in verschiedenen Entwicklungsstadien und Anlage der doppelten Kondylen-Gelenkfläche (†)



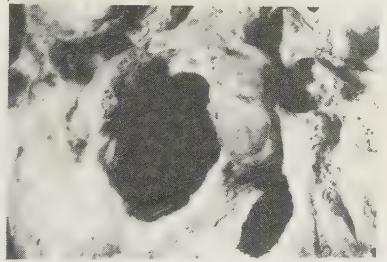
37



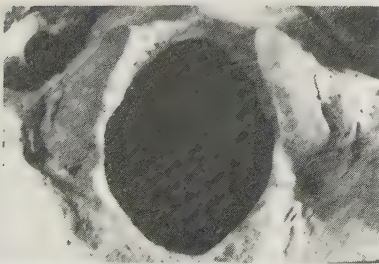
38



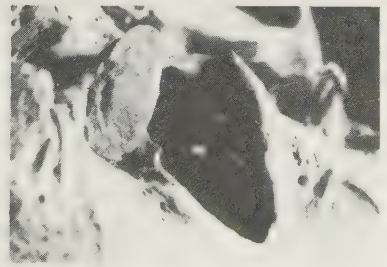
39



40

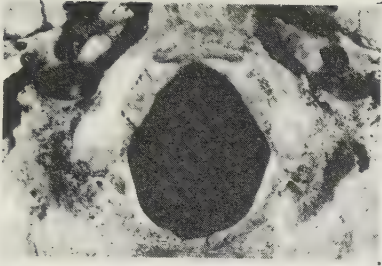


41

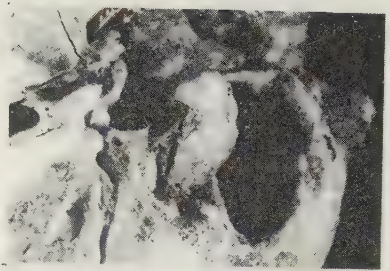


42

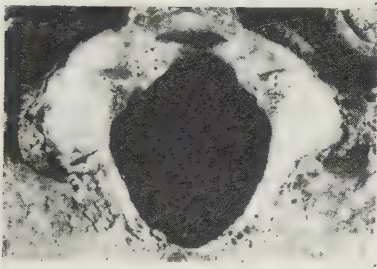
Abb. 37-42: Doppelt angelegte Kondylen-Gelenkflächen



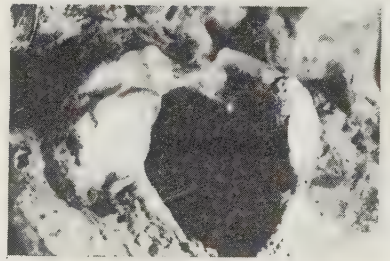
43



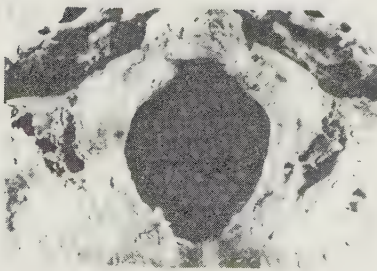
44



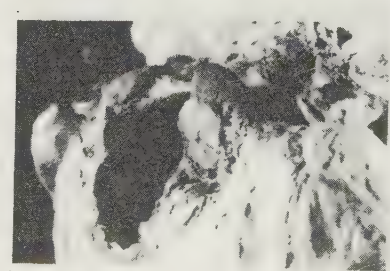
45



46

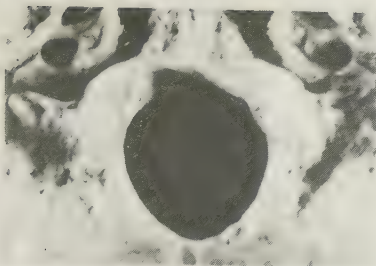


47

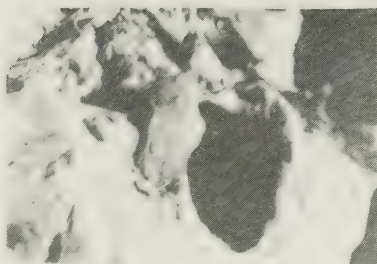


48

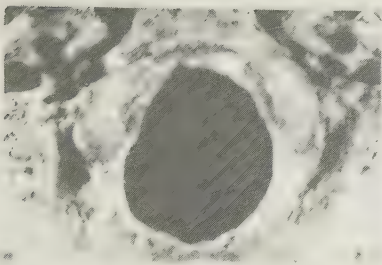
Abb. 43-48: Diëdrische/prismatische Gelenkflächen



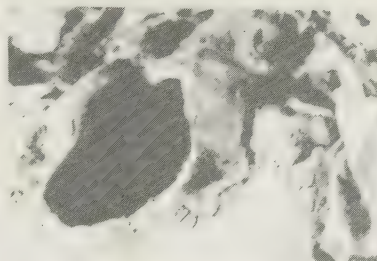
49



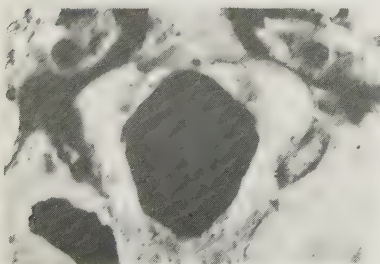
50



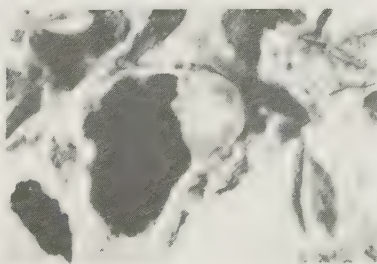
51



52

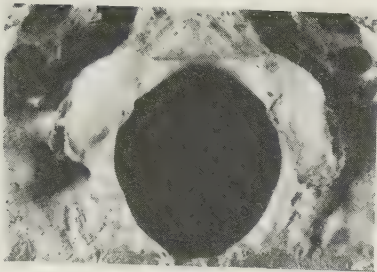


53

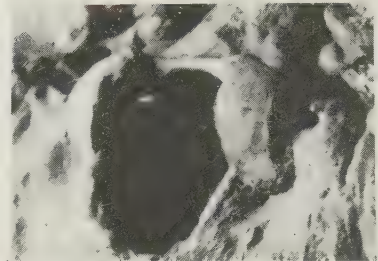


54

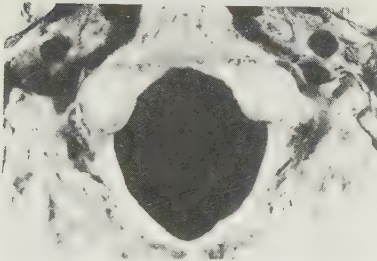
Abb. 49-50: Geigenförmige Gelenkflächen - Einkerbungen bas.
Abb. 51-54: Bohnenförmige Gelenkflächen - Einkerbungen lat.
oder medial



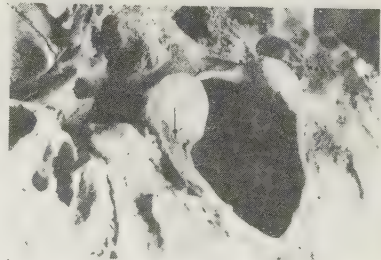
55



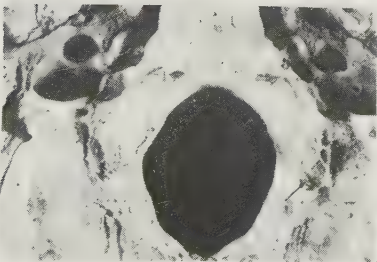
56



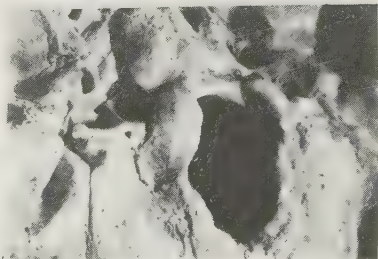
57



58



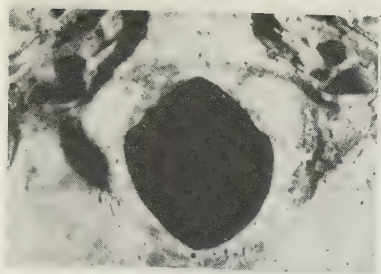
59



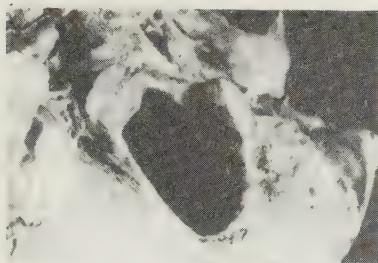
60

Abb. 55-56: Hakenförmige Gelenkflächen

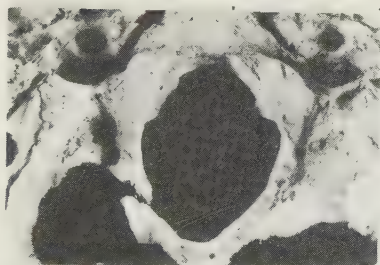
Abb. 57-60: Klauenförmige Gelenkflächen (†)



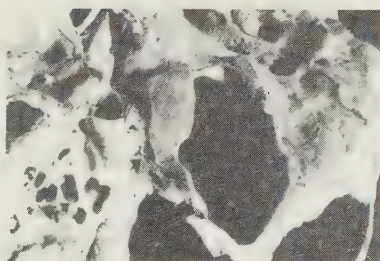
61



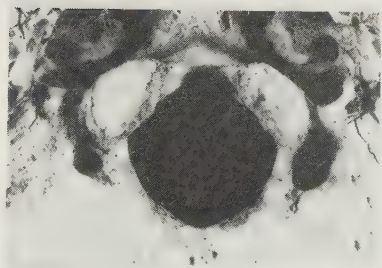
62



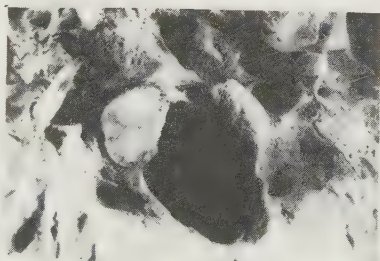
63



64

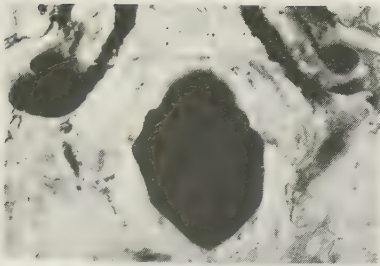


65

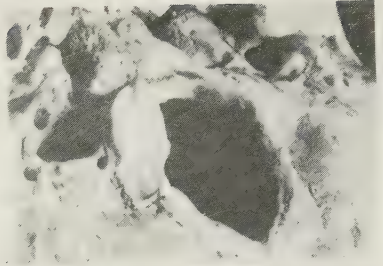


66

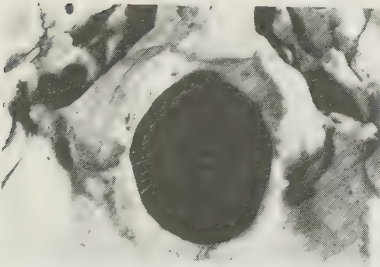
Abb. 61-66: Plane Gelenkflächen



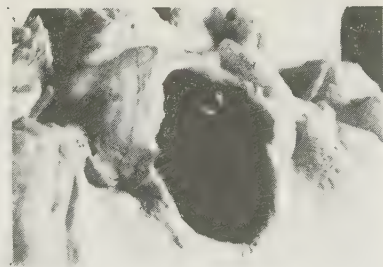
67



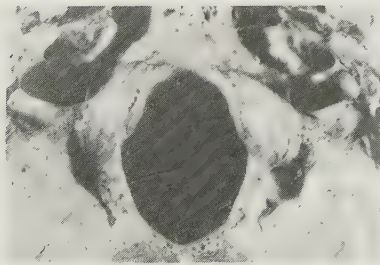
68



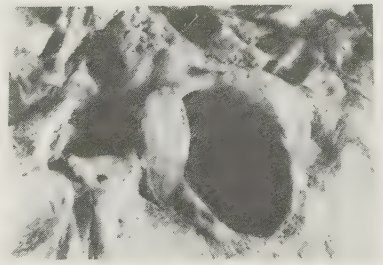
69



70

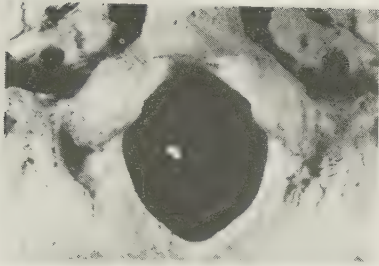


71

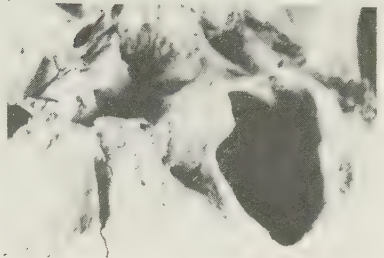


72

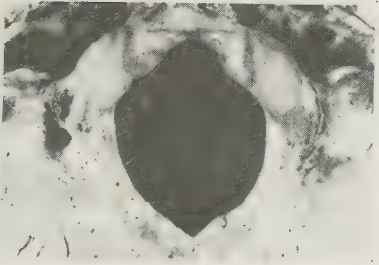
Abb. 67-72: Konvexe, längsovale Gelenkflächen



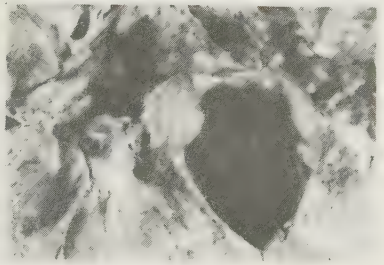
73



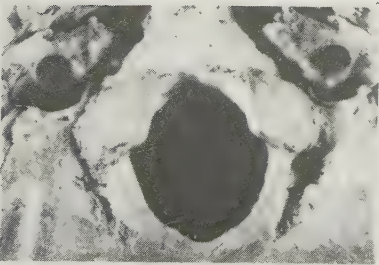
74



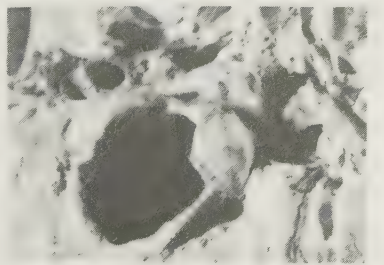
75



76

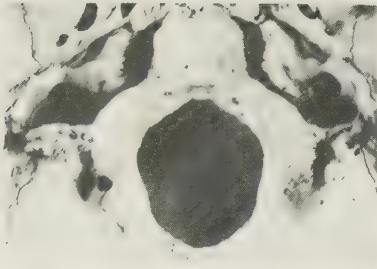


77

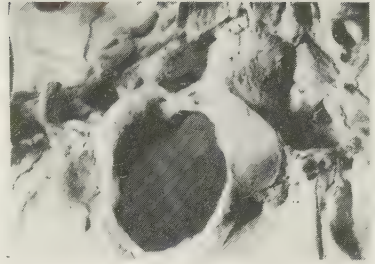


78

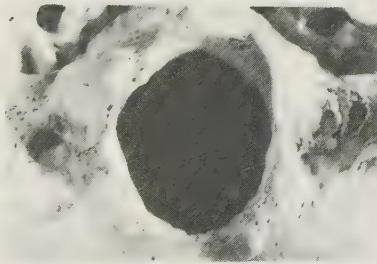
Abb. 73-78: Rhombische Gelenkflächen



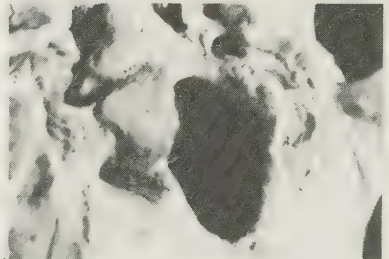
79



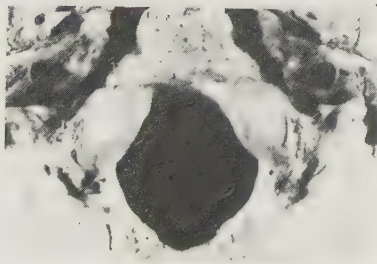
80



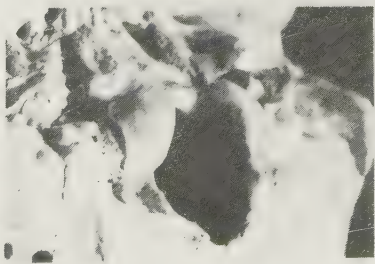
81



82

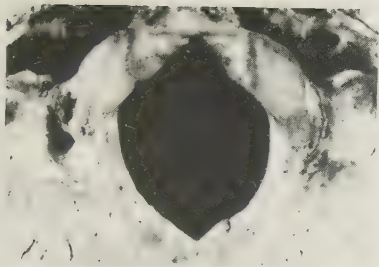


83

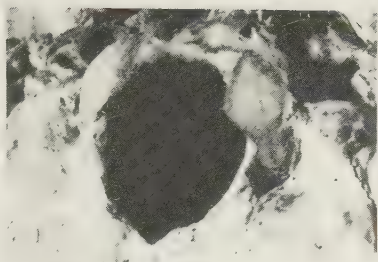


84

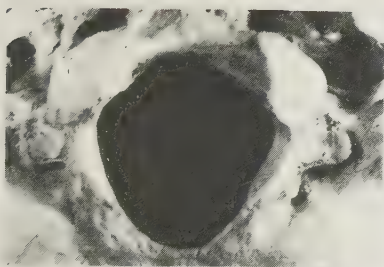
Abb. 79-84: Mischformen aus runden u. eckigen Gelenkflächen



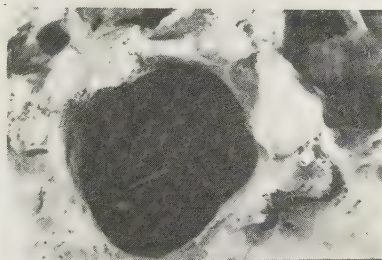
85



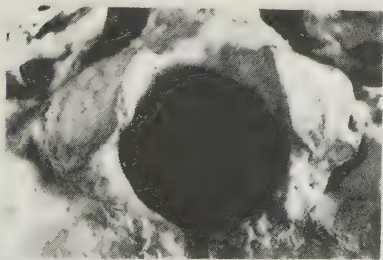
86



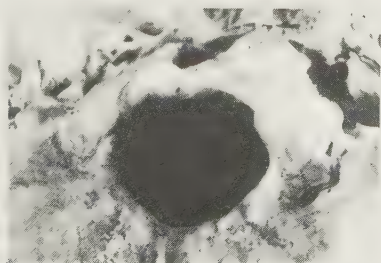
87



88



89



90

Abb. 85-90: Randfacetten/Einstellungsfurchen - Dreilappige Gelenkflächen.

Lebenslauf

- 1951 18. Mai. Ich werde zu Stuttgart als erstes Kind des Diplom Ingenieurs Werner Rude und seiner Ehefrau Esther Rude, geb. Böckle, geboren.
- 1952-56 Aufenthalt in Rio de Janeiro - Brasilien
- 1958-60 Besuch der Voklsschule in Bretten bei Karlsruhe.
- 1961 1. April. Aufnahmeprüfung und Übertritt in das Gymnasium Stuttgart-Vaihingen.
- 1964-65 Eintritt in das Internat der Herrnhuter Brüder-
gemeinde in Korntal
- 1965-66 Rückkehr nach Stuttgart-Möhringen und Wiederein-
tritt in das Gymnasium Stuttgart-Vaihingen.
- 1968 Besuch des Gutenberg Gymnasiums in Mainz.
- 1970 Ablegung der Reifeprüfung.
- 1972 Aufnahme des Biologiestudiums in Mainz.
- 1975 Aufnahme des Medizinstudiums in Mainz.
- 1977 Diplom-Hauptprüfung in den Fächern Anthropologie,
Zoologie, Genetik, Biochemie, Mikrobiologie,
Botanik und Paläontologie.
- 1978 Erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung
Publikation über einen Schädel mit syphilitischen
Stigmata in Homo 30.
- 1979 Erhalt eines Fachkursstipendiums-Medizin des DAAD.
- 1980 Zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung und
Wechsel der Universität nach Frankfurt. Das
Praktische Jahr wird im Städtischen Krankenhaus
Darmstadt absolviert mit dem Nebenfach Neurologie. .
- 1981/82 Dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung.
- 1982 19. Mai. Approbation als Arzt.

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. E. Stofft
für die Vergabe dieser Arbeit und
seine wissenschaftliche Betreuung.

Ebenfalls danke ich Prof. Dr. Dr. Dr.
W. Bernhard für die Bereitstellung
des Materials.

Für die statistische Beratung und
die Erstellung der Programme danke
ich Herrn Dr. K.-H. Schicketanz und
Herrn St. Klug (Anthropologie).

